

UNIVERSIDAD DE CUENCA



**FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**“EVALUACION DEL CLORO RESIDUAL EN LA RED DE
DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE DEL CANTON AZOGUES A
TRAVES DE UN MODELO EXPERIMENTAL”**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO
A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO AMBIENTAL**

AUTORES:

CHRISTIAN MARCELO GUANUCHI QUEZADA

C.I. 0105738892

JUAN ANDRÉS ORDÓÑEZ JARA

C.I. 0105706006

DIRECTOR:

ING. FAUSTO FERNANDO GARCÍA ÁVILA, MSC

C.I. 0301454617

CUENCA – ECUADOR

2017



RESUMEN

En las redes de distribución de agua potable ocurren factores que degradan la calidad del agua. Varios investigadores se han preocupado por desarrollar metodologías para mejorar la calidad del agua en las redes de abastecimiento a través de la simulación de parámetros de calidad. El objetivo de este trabajo fue utilizar un modelo en EPANET para simular la calidad del agua de un sector del sistema de suministro de agua potable en la ciudad de Azogues. El parámetro de calidad del agua simulada fue el cloro residual libre. Se realizaron campañas de determinación de las características hidráulicas (caudal y presión) y de las concentraciones de cloro residual en puntos característicos de la red. Los modelos hidráulico y de calidad realizados en EPANET fueron calibrados y validados para la previsión de los perfiles de presión y cloro residual, obteniendo resultados en las simulaciones muy cercanos a los medidos en el campo en los diferentes puntos muestreados, demostrando que este tipo de modelación es una valiosa herramienta que permite realizar el seguimiento de la calidad del agua en cada punto de la red de distribución.

Palabras clave: Red de distribución, calidad del agua, cloro residual libre, simulación, modelo.



ABSTRACT

Several factors that degrade the quality of the water may occur in drinking water distribution networks. Several researchers have been concerned to develop methodologies to improve the quality of water in distribution networks through the simulation of water quality parameters. The objective of this study was to use the EPANET model to simulate the water quality of a sector of the system of water supply of drinking in the city of Azogues. Campaigns were carried out for the determination of the hydraulic characteristics (flow and pressure) and concentrations of residual chlorine in the minutiae of the network. The models hydraulic and quality made in EPANET were calibrated and validated for the forecast of the profiles of pressure and residual chlorine, achieving results in the simulations are very close to those measured in the field in the different points sampled, demonstrating that this type of modeling is a valuable tool that allows the monitoring of the quality of the water in each point of the distribution network.

Key words: network, quality of water, free residual chlorine, simulation, model.



Contenido

RESUMEN.....	2
ABSTRACT	3
DEDICATORIA	13
AGRADECIMIENTOS.....	14
CAPÍTULO I.....	15
1.1 INTRODUCCIÓN.....	15
1.2 PROBLEMÁTICA.....	16
1.3 JUSTIFICACIÓN	17
1.4 OBJETIVOS	18
1.4.1 Objetivo general	18
1.4.2 Objetivos específicos.....	18
CAPÍTULO 2.....	19
MARCO TEÓRICO	19
2.1 AGUA POTABLE.....	19
2.2 CLORACIÓN	19
2.2.1 Características del cloro como desinfectante en tratamientos de agua potable.....	19
2.2.2 Tiempo de residencia del cloro	20
2.2.3 Desinfectante secundario o Cloro residual.....	20
2.3 SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE	20
2.3.1 Tipología de las redes de distribución.....	20
2.3.2 Componentes de los sistemas de distribución	21
2.3.2 Demanda de agua	23
2.4 MODELOS MATEMÁTICOS EN REDES DE DISTRIBUCIÓN.....	23
2.4.1 Modelos hidráulicos	24
2.4.2 Modelos de calidad	28
2.5 SOFTWARE EPANET	31
2.5.1 Capacidades hidráulicas del sistema	31
2.5.2 Capacidades de la Calidad de Agua	31
2.5.3 Usos de EPANET	32
2.5.4 Componentes de EPANET.....	32
CAPÍTULO 3.....	38
METODOLOGÍA	38
3.1 ÁREA DE ESTUDIO	38
3.2 MODELO HIDRÁULICO	39
3.2.1 Recopilación de los datos	40



3.2.2	Ingreso de datos a EPANET y simulación	48
3.2.3	Calibración del modelo.....	50
3.2.4	Validación del modelo hidráulico	52
3.3	MODELO DE CALIDAD.....	53
3.3.1	Muestreo para la medición de cloro libre	53
3.3.2	Determinación del coeficiente de reacción de masa (Kb).....	58
3.3.3	Determinación del coeficiente de reacción con la pared de la tubería (Kw).....	58
3.3.4	Modelación de cloro libre en EPANET	59
3.3.5	Calibración del modelo de calidad	63
3.3.6	Validación del modelo de calidad.....	64
CAPÍTULO 4.....		65
RESULTADOS Y DISCUSIÓN		65
4.1	MODELO HIDRÁULICO	65
4.1.1	Resultados de la demanda	65
4.1.2	Resultados de la simulación de la red de la Zona Alta en el programa EPANET	67
4.2	MODELO DE CALIDAD.....	78
4.2.1	Resultados del monitoreo de cloro residual	78
4.2.2	Resultados de la determinación del coeficiente de reacción de masa (Kb).....	80
4.2.3	Resultados de la determinación del coeficiente de reacción en las paredes de la tubería (Kw).....	84
4.2.4	Resultados de la calibración del modelo de Calidad	84
4.2.5	Resultados de la validación del modelo hidráulico	89
CAPÍTULO 5.....		92
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		92
5.1	CONCLUSIONES.....	92
5.2	RECOMENDACIONES.....	93
BIBLIOGRAFÍA.....		95
ANEXOS.....		101

Índice de tablas

Tabla 1 Fórmulas de pérdida de carga en una tubería llena	26
Tabla 2 Coeficientes de rugosidad para tuberías nuevas.....	26
Tabla 3 Coeficientes de pérdidas menores para diferentes accesorios de una red de agua potable.....	27
Tabla 4 Transformaciones lineales de las ecuaciones de velocidad para el orden de reacción cero, primero y segundo	29
Tabla 5 Tuberías existentes en la Zona Alta	41
Tabla 6 Demandas promedio por edificación	45
Tabla 7 Resultado del cálculo de las demandas totales en 15 nodos de la red.....	65
Tabla 8 Mediciones de caudal a la salida del tanque de la Zona Alta	66
Tabla 9 Caudales totales a la salida del tanque de abastecimiento	70
Tabla 10 Medición de presiones para la calibración del modelo hidráulico	71
Tabla 11 Informe de calibración de presión del modelo base.....	72
Tabla 12 Informe de calibración de presión del modelo calibrado	73
Tabla 13 Medición de presiones para la validación del modelo hidráulico.....	74
Tabla 14 Informe de verificación de presión del modelo calibrado	76
Tabla 15 Resultados de mediciones de cloro in-situ (mg/l) en la red de distribución de EMAPAL	78
Tabla 16 Resultados de mediciones de cloro in-situ (mg/l) en la red de la Zona Alta ..	79
Tabla 17 Decaimiento de cloro residual de la muestra uno (vivienda de Chiturco) correspondiente al mes de Julio	80
Tabla 18 Constantes de desintegración K_b (d^{-1}) de la red de EMAPAL	82
Tabla 19 Constantes de desintegración K_b (d^{-1}) de la red de la Zona Alta	83
Tabla 20 Determinación de la constante global de desintegración de masa (K_b)	83
Tabla 21 Datos de mediciones de cloro para calibración del modelo de calidad	85
Tabla 22 Informe de calibración de la primera simulación del modelo de calidad	86
Tabla 23 Informe de calibración de la simulación del modelo de calidad calibrado	88
Tabla 24 Medición de concentraciones de cloro residual para la validación del modelo de calidad	89
Tabla 25 Informe de calibración de la simulación del modelo de calidad validado	90



Índice de ilustraciones

Ilustración 1 Estructura de los tipos de redes de distribución.	21
Ilustración 2 Desarrollo histórico de los modelos de simulación.	23
Ilustración 3 Tendencias de la concentración vs tiempo de los tres órdenes de reacción: cero, primero y segundo.	30
Ilustración 4 Componentes de una red en el programa EPANET.	33
Ilustración 5 Mapa de la zonificación de la red de agua potable en la ciudad de Azogues.	38
Ilustración 6 Mapa de la superficie de la Zona Alta.	39
Ilustración 7 Diagrama para la simulación de un modelo hidráulico de flujo no permanente en periodo extendido con EPANET.	40
Ilustración 8 Red de distribución de agua potable de la Zona Alta.	42
Ilustración 9 Proceso para el cálculo de las alturas en los vértices de las tuberías. ...	43
Ilustración 10 Ejemplo de asignación de las demandas a los diferentes nodos	44
Ilustración 11 Medición de la demanda horaria en el tanque de abastecimiento de la Zona Alta.	46
Ilustración 12 Datos necesarios a ingresar en los diferentes componentes del software EPANET	49
Ilustración 13 Editor de Patrón	49
Ilustración 14 Procesos para la calibración de modelos hidráulicos	50
Ilustración 15 Medición de las presiones con el manómetro portátil en diferentes domicilios de la red de distribución de la Zona Alta.	51
Ilustración 16 Puntos de medición de las presiones en la red de distribución de la Zona Alta para la calibración del modelo hidráulico.	52
Ilustración 17 Puntos de medición de las presiones en la red de distribución de la Zona Alta para la validación del modelo hidráulico.	53
Ilustración 18 Puntos de muestreo en las 6 Zonas de estudio	54
Ilustración 19 Puntos de muestreo para mediciones de cloro residual en la red de distribución de la Zona Alta.	55
Ilustración 20 Muestra Simple #14 correspondiente al sector Santa Bárbara.	56
Ilustración 21 Recipiente de 1000 ml para la toma de muestras	56
Ilustración 22 Recipiente etiquetado para la recolección de muestras	57
Ilustración 23 Método gráfico para determinación del orden de reacción	58
Ilustración 24 Proceso para la confección y calibración del modelo de calidad de la Zona Alta.	59



Ilustración 25 Opciones de calidad de agua en EPANET	60
Ilustración 26 Opciones de reacción del agua en Epanet.....	60
Ilustración 27 Propiedades del Tanque del modelo.....	62
Ilustración 28 Propiedades de los nodos del modelo	62
Ilustración 29 Puntos de muestreo de mediciones de cloro residual para la validación del modelo de calidad	64
Ilustración 30 Tendencia de la demanda en 24 horas.....	67
Ilustración 31 Esquema de la Red de distribución de la Zona Alta en EPANET	68
Ilustración 32 Coeficientes de la demanda total ingresados en el programa EPANET	68
Ilustración 33 Caudales en las tuberías (l/s) a las 9:00 am	69
Ilustración 34 Presiones en los nodos (m.c.a.) a las 9:00 am.....	70
Ilustración 35 Comparación de las presiones calculadas y observadas en el modelo base	73
Ilustración 36 Comparación de las presiones calculadas y observadas en el modelo calibrado.....	74
Ilustración 37 Comparación de las presiones calculadas y observadas en el modelo validación	77
Ilustración 38 Mapas de presiones (m.c.a.) del modelo hidráulico validado para diferentes periodos de consumo	77
Ilustración 39 Comportamiento de la presión en el nodo J-288 para los diferentes periodos de consumo.....	78
Ilustración 40 Método grafico para la determinación del orden de reacción de decaimiento de cloro para la vivienda de Chiturco	81
Ilustración 41 Determinación de kb, Muestra # 1 Vivienda Chiturco, mes de Julio del 2016.....	81
Ilustración 42 Determinación del tiempo de estabilización del cloro de la red de la Zona Alta	84
Ilustración 43 Concentraciones de cloro (mg/l) a las 9:00 am, primera simulación.....	85
Ilustración 44 Comparación de los valores de cloro calculados y observados en la primera simulación del modelo de calidad	87
Ilustración 45 Comparación de los valores de cloro calculados y observados en la simulación del modelo de calidad calibrado.....	88
Ilustración 46 Comparación de los valores de cloro calculados y observados en la simulación del modelo de calidad Validado	91
Ilustración 47 Mapas de concentraciones de cloro residual (mg/l) del modelo de calidad validado para diferentes periodos de consumo	91



Universidad de Cuenca

Cláusula de Licencia y Autorización para Publicación en el Repositorio Institucional

Christian Marcelo Guanuchi Quezada en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "EVALUACIÓN DE CLORO RESIDUAL EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE DEL CANTÓN AZOGUES A TRAVÉS DE UN MODELO EXPERIMENTAL", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el Repositorio Institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 21 de Agosto del 2017

Lugar, fecha

Christian Marcelo Guanuchi Quezada

C.I: 0105738892



Universidad de Cuenca

Cláusula de Licencia y Autorización para Publicación en el Repositorio Institucional

Juan Andrés Ordóñez Jara en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "EVALUACIÓN DE CLORO RESIDUAL EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE DEL CANTÓN AZOGUES A TRAVÉS DE UN MODELO EXPERIMENTAL", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el Repositorio Institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 21 de Agosto del 2017

Lugar, fecha

Juan Andrés Ordóñez Jara

C.I: 0105706006



Christian Marcelo Guanuchi Quezada, autor del trabajo de titulación "EVALUACIÓN DE CLORO RESIDUAL EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE DEL CANTÓN AZOGUES A TRAVÉS DE UN MODELO EXPERIMENTAL", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor/a.

Cuenca, 21 de Agosto del 2017

Lugar, fecha

Christian Marcelo Guanuchi Quezada

C.I: 0105738892



Universidad de Cuenca
Cláusula de Propiedad Intelectual

Juan Andrés Ordóñez Jara, autor del trabajo de titulación "EVALUACIÓN DE CLORO RESIDUAL EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE DEL CANTÓN AZOGUES A TRAVÉS DE UN MODELO EXPERIMENTAL", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 21 de Agosto del 2017

Lugar, fecha

Juan Andrés Ordóñez Jara

C.I: 0105706006



DEDICATORIA

Este trabajo de titulación va dedicado primero a mis padres Carlos y Margarita por ser mis guías, quienes con mucho amor, esfuerzo y tolerancia me brindaron todo su apoyo y gracias a ello hoy estoy por terminar una etapa más de mi vida, a mi hermana Isabel y hermano Carlos por cuidarme siempre, por ser un ejemplo a seguir y por todas sus enseñanzas. También va dedicado a mi tío Segundo, a mi prima Jessica y a mi cuñado Israel quienes siempre han estado ayudándome y dándome ánimos para seguir adelante, a mi novia Erika por todo el amor, felicidad, por estar siempre pendiente y junto a mí y, por último, a todos mis amigos y amigas que siempre estuvieron a mi lado en toda la etapa universitaria y que de una u otra manera fueron parte importante de mi vida.

Juan Andrés Ordóñez Jara

Este trabajo de titulación va dedicado a mi madre Nelly por ser una persona ejemplar quien con su esfuerzo, tolerancia y consejos me brindo el apoyo necesario para realizar mis estudios y gracias a ello estoy por alcanzar una etapa importante en mi vida; a mi familia, especialmente a mis hermanos Carlos, Jhonatan y Pamela por estar siempre pendientes y confiar en mí. A todos mis amigos especialmente Kelly, Cristian, Gabriel, Ismael y Juan quienes formaron parte de un pilar fundamental para mi formación académica y motivaron para seguir adelante y culminar este trabajo.

Christian Marcelo Guanuchi Quezada



AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a EMAPAL EP, por la apertura para la realización de este trabajo, especialmente al Ing. Juan García, por la ayuda brindada y facilidades para el desarrollo de los muestreos en la red de la Zona Alta.

A nuestro Director, Ing. Fernando García, que a lo largo de la ejecución del trabajo se convirtió en un buen amigo y quien, con sus conocimientos, motivación, confianza, apoyo y empeño dedicado nos demostró su calidad humana y excelencia profesional.

A los operadores de la planta de tratamiento de Uchupucun quienes nos ayudaron con el control de las válvulas para los muestreos en el tanque de la Zona Alta y a los operadores de los distintos tanques de abastecimiento por la facilidad para la toma de muestras.

Gracias Dios, por nuestra amistad durante la vida universitaria, que nos ha proporcionado muchas experiencias por los momentos compartidos y aprendizaje en el camino de nuestra formación académica.

CAPÍTULO I

1.1 INTRODUCCIÓN

Los sistemas de tratamientos de agua potable han ayudado a salvaguardar la salud humana previniendo enfermedades. Un tratamiento adecuado y principalmente la desinfección del agua, es clave para eliminar o reducir bacterias entéricas, virus y quistes de protozoos, que causan infecciones o enfermedades. En todo el mundo donde se realiza adecuadamente el proceso de desinfección del agua, se ha logrado beneficios en la salud de los consumidores. (Ahn, Lee, Choi, & Koo, 2012; Organización Panamericana de la Salud, 2007).

El desinfectante más utilizado por sus propiedades antisépticas es el cloro. Sin embargo, la deficiencia en el procedimiento de desinfección puede causar sabores y olores desagradables debido a altas concentraciones de cloro residual y, por el contrario, si existe un mínimo de cloro remanente no garantiza la inocuidad del producto. (Organización Panamericana de la Salud, 2007).

En la actualidad existen diversos softwares que simulan modelos hidráulicos y de calidad del agua en las redes de distribución, que permiten predecir los comportamientos físicos y/o químicos que se producen en la red de distribución de agua, a su vez se puede evaluar diferentes estrategias de gestión. EPANET es uno de esos programas, creado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos y traducido por la Universidad Politécnica de Valencia, siendo este último el que se utilizará para desarrollar la modelación.

En la ciudad de Azogues, provincia del Cañar, la Empresa Pública Municipal de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento Ambiental (EMAPAL EP) es el ente encargado de suministrar agua potable a los usuarios de dicha ciudad. EMAPAL EP utiliza cloro gas como insumo para la desinfección del agua como parte del último proceso de potabilización que se efectúa en sus plantas de tratamiento, razón por la cual, conocer la concentración de cloro residual en todos los puntos de la red de distribución ayudaría a la empresa EMAPAL EP a asegurar la satisfacción y la seguridad de sus usuarios. Por ello, el presente trabajo tiene como objetivo principal evaluar la concentración del cloro residual en la línea de suministro de agua.

Con los resultados de la simulación del modelo de calidad obtenidos con el programa EPANET, se determinará los comportamientos de las concentraciones de cloro residual con respecto al tiempo de residencia y a la distancia en la red de distribución, permitiendo tener un control sobre la desinfección con cloro desde la planta de

tratamiento hasta los puntos de los consumidores del agua potable. Además, conociendo los niveles de cloro, se puede identificar los sectores de la red con concentración escasa o excesiva, permitiendo investigar las causas y establecer estrategias para lograr una desinfección eficiente a lo largo de toda la línea de suministro.

1.2 PROBLEMÁTICA

La calidad del agua dentro de un sistema de distribución de agua potable varía durante su trayectoria desde las fuentes de abastecimiento, hasta la toma domiciliaria ya que el desinfectante decae por la reacción con el agua y con las paredes de tuberías y tanques dentro de la red (Tzatchkov & Alcocer-Yamanaka, 2004).

La red de distribución de agua potable de la ciudad de Azogues tiene aproximadamente 218 kilómetros de tubería, así como 29 tanques de distribución haciendo difícil alcanzar una extensa monitorización de su calidad. En la línea de distribución de agua potable es fundamental el abastecimiento de agua segura a los consumidores; sin embargo, ésta puede sufrir variaciones por su naturaleza misma, por la extensión de la tubería, la existencia de tanques del almacenamiento, válvulas e hidrantes. Para prevenir riesgos por alteraciones de la calidad del agua en la red, se deben analizar problemas como el decaimiento del cloro residual en la red de distribución, ya que esta variación de la concentración altera la calidad del agua, pudiendo permitir la presencia de microorganismos que generan un impacto negativo en la salud de los consumidores. (Atlas, Coombs, & Zajicek, 1982)

La empresa EMAPAL EP encargada del abastecimiento de agua potable usa el cloro como desinfectante para mantener la calidad del agua, pero este puede presentar efectos adversos o nocivos para la salud; cuando se presenta materia orgánica en el agua y esta reacciona con el cloro provoca la formación de trihalometanos (THMs) que en ciertas concentraciones terminan siendo tóxicos (Tzatchkov & Arreguín Cortés, 1996). Además, Atlas et al. (1982) indica que los altos niveles de cloro residual es uno de los causantes de la corrosión de las tuberías, razón por la cual es muy importante establecer la concentración del desinfectante en la línea de suministro.

El personal técnico de la EMAPAL EP realiza monitoreos semanales en las viviendas de los usuarios, entre uno de los parámetros analizados está el cloro libre, estos trayectos de muestreo poseen puntos, sitios y viviendas generalmente fijos, lo que

origina ciertos problemas, debido a que pueden presentarse sectores de la ciudad con concentración insuficiente de cloro.

1.3 JUSTIFICACIÓN

El modelamiento experimental del comportamiento de la calidad del agua en los sistemas de distribución ha tomado mucha importancia, para comprender que sucede realmente con el agua cuando abandona la planta de tratamiento con una excelente calidad y como esta llega hasta el usuario final, quien es el que la consume.

Un objetivo importante de la desinfección en los sistemas de abastecimiento de agua es mantener un nivel de cloro residual. Por ello, es esencial disponer de un modelo experimental de cloro residual en el agua transportada por las tuberías, para evaluar la concentración del desinfectante en la red de distribución, permitiendo la predicción de cloro residual durante varias horas, comenzando con su concentración en la planta potabilizadora (Fisher et al., 2012; Norton & LeChevallier, 1997).

El modelo de calidad permite evaluar la concentración de cloro residual en toda la red de abastecimiento, de esta forma se reduce el número de sitios de muestreo que el personal técnico de la empresa EMAPAL EP debe monitorear, permitiendo la optimización de recursos humanos y económicos necesarios para la determinación de la concentración de cloro libre en diferentes puntos de la red.

Los modelos experimentales de cloro residual pueden facilitar la toma de decisiones para la gestión de la calidad del agua, ya que permite determinar los lugares y frecuencia de muestreo, la optimización de la dosificación de cloro y las ubicaciones de las estaciones de desinfección de refuerzo con la finalidad de asegurar el suministro de agua de calidad (Rossman et al., 1997)

Conocer la concentración de cloro residual en cada punto del sistema y a cada hora del día es importante, para cumplir con las normas correspondientes a la calidad del agua para consumo humano con relación al contenido de cloro residual. Además, conociendo los niveles de cloro, se puede identificar los sectores de la red con concentración escasa o excesiva.



1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo general

Evaluar el comportamiento del cloro residual en la red de distribución de agua potable del cantón Azogues a través de un modelo experimental.

1.4.2 Objetivos específicos

Identificar puntos estratégicos para mediciones de concentración de cloro residual in situ en la red de distribución, con el fin de garantizar la calidad del agua.

Determinar si la dosificación del desinfectante en las plantas potabilizadoras garantiza la presencia de cloro residual en todo el sistema de abastecimiento, según parámetros de la norma INEN 1108:2014.

Simular el comportamiento y el decaimiento de cloro residual en la red de distribución de la Zona Alta usando el software EPANET.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1 AGUA POTABLE

Se considera agua potable al agua que ha sido sometida a procesos de purificación, cuyas características químicas, físicas y microbianas cumplen con normas nacionales o internacionales sobre la calidad del agua potable y es adecuada para fines domésticos, higiene personal, así como para beber y cocinar, sin ocasionar ningún riesgo significativo para la salud. (NTE INEN 1108, 2014; Spellman & Drinan, 2004; World Health Organization, 2006)

2.2 CLORACIÓN

Históricamente la cloración ha sido reconocida por ser un método eficaz de desinfección, contribuyendo en la prevención de enfermedades transmitidas por el agua; este método consiste en introducir productos clorados (cloro elemental, hipoclorito de sodio o hipoclorito de calcio) en el agua pretratada. De modo que, en el transcurso del tiempo de residencia éste inactiva los patógenos presentes. Una ventaja es que el cloro no se utiliza sólo como desinfectante primario, sino que también se añade para proporcionar un desinfectante secundario que sigue actuando durante horas o días y de esta manera preserva la calidad del agua y protege de un nuevo crecimiento de patógenos en la red de distribución. (Crittenden et al., 2012; Environmental Protection Agency, 2011; Rossman et al., 1994)

2.2.1 Características del cloro como desinfectante en tratamientos de agua potable:

- Tienen una acción germicida amplia.
- Los organismos patógenos son inactivados a temperatura ambiente.
- Es de fácil aplicación y económica
- Las dosis utilizadas en la desinfección no constituyen riesgo para el hombre ni para los animales.
- Deja un efecto residual que protege el agua de una posterior contaminación en la red de distribución.
- Costos bajos en la determinación de su concentración en los sistemas de distribución. (Legay et al., 2010; Solsona & Mendez, 2002)

2.2.2 Tiempo de residencia del cloro

Es el tiempo medio en el cual una molécula de una sustancia está presente en un compartimento. (Luque, 2011). Según la NTE INEN 1108 (2014) el tiempo de residencia del cloro en contacto con el agua es de al menos 30 minutos.

2.2.3 Desinfectante secundario o Cloro residual

Es el cloro remanente que existe en el agua pasado el tiempo de residencia; los límites permisibles para garantizar la inocuidad del agua en la red de distribución se encuentran en el rango de 0.3 mg/l y 1.3 mg/l de cloro residual. (NTE INEN 1108, 2014).

2.3 SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE

Los sistemas de distribución de agua potable son sistemas hidráulicos que pueden variar de simples a extremadamente complejos, pero, básicamente consisten en un conjunto de tuberías conectadas entre sí, de tal forma que se pueda transportar y suministrar agua directamente a los usuarios en condiciones que satisfagan sus necesidades como: calidad, caudal, presión y continuidad del suministro. Para lograr un funcionamiento óptimo, se pueden instalar en el sistema diferentes tipos de depósitos, estaciones de bombeo, así como diversos accesorios como válvulas, hidrantes, equipos de medición, etc. (Arasmith, 2014; Ginnobili, 2010; Trifunovic, 2006)

El objetivo principal de una red de distribución es suministrar en todo momento cantidades adecuadas de agua manteniendo la calidad conseguida en el proceso de potabilización (Trifunovic, 2006)

2.3.1 Tipología de las redes de distribución

- a. **Red Ramificada:** Esta red consiste en la unión de una tubería principal de mayor sección con una serie de tuberías de menor diámetro y estas a su vez se unen con los puntos de consumo en los predios (Ilustración 1a).
- b. **Red Mallada:** La característica principal de esta red es la formación de cuadrículas formando un circuito cerrado, consiguiéndose que cada punto de consumo tenga más de una vía de flujo (Ilustración 1b).
- c. **Red mixta:** Consiste en una mezcla de las dos redes: ramificada y mallada (Ilustración 1c). (Cañero, 2016; Trifunovic, 2006)

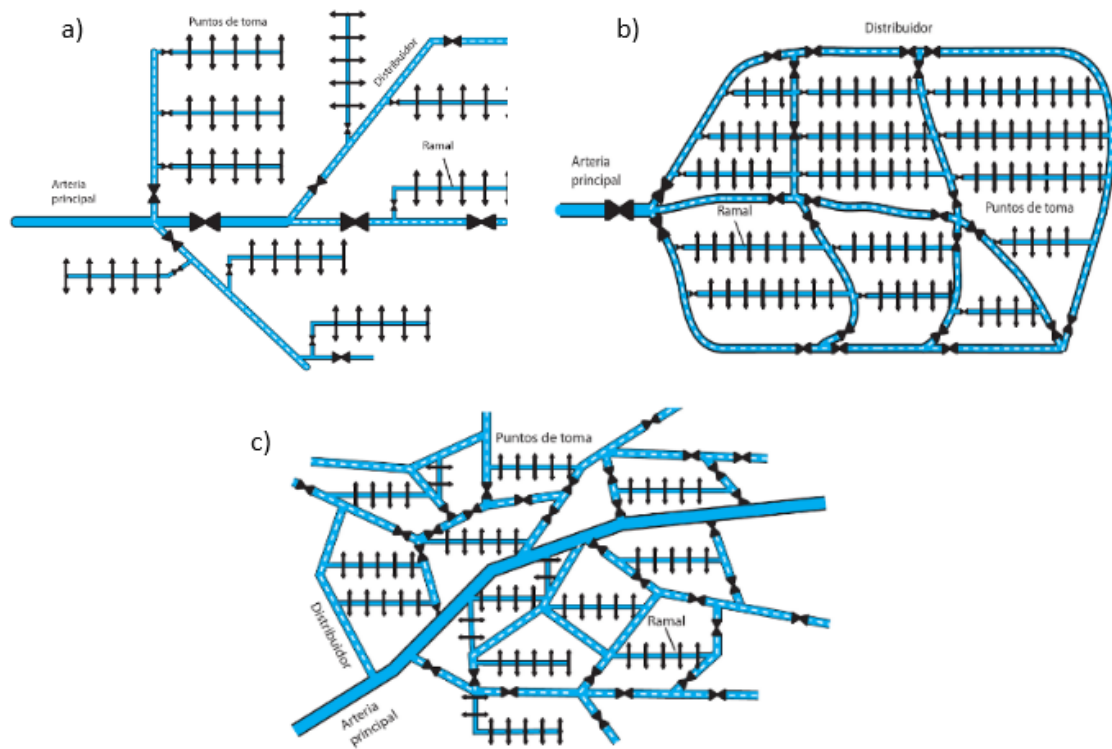


Ilustración 1 Estructura de los tipos de redes de distribución. a) Red ramificada. b) Red mallada. c) Red mixta. (Fuente: Cañero, 2016)

2.3.2 Componentes de los sistemas de distribución

La gran mayoría de los sistemas de distribución de agua potable incluyen los mismos componentes básicos: depósitos, tuberías, válvulas, hidrantes, bombas y medidores doméstico. Se pondrá énfasis en los tres primeros componentes ya que son esenciales para el entendimiento del presente estudio.

2.3.2.1 Depósitos o tanque de almacenamiento. - Es una estructura creada por el hombre para almacenar masas de agua, con el fin de satisfacer todas las demandas de los sistemas de agua potable. El agua puede almacenarse antes y/o después del tratamiento. (Chapman, 1996; Mays, 2010). Entre las funciones principales de un depósito están:

- Suministrar el tiempo de residencia para la reacción cloro-agua y obtener una desinfección deseada.
- Mantener la presión en el sistema.
- Proporcionar el flujo durante la demanda pico ya sea por hora o día
- Reducir la sobrecarga asociada con las bombas en el momento de arranque y detención.

- Nivelar la demanda de bombeo, de esta manera evita que las bombas funcionen 24 horas al día. (Arasmith, 2014)

2.3.2.2 Tuberías. - Son conductos cilíndricos huecos, utilizados para transportar las demandas de agua a la comunidad. Se pueden clasificar según su propósito y su material de fabricación.

a. Propósito

Por el uso asignado en el sistema se pueden clasificar en:

- **Alimentadores primarios.** - Los alimentadores primarios contienen grandes tuberías que transportan agua potable desde la planta de tratamiento a la línea de distribución y/o a los lugares principales de almacenamiento de agua.
- **Alimentadores secundarios.** - Estos forman el esqueleto básico del sistema, están conectados a los alimentadores primarios y transportan el agua a lo largo de las principales calles donde está situada la red.
- **Red de distribución.** - Se utilizan para conducir el agua de los alimentadores secundarios a calles individuales y hacia los consumidores. (Snyder, 2002; Trifunovic, 2006).

b. Materiales de fabricación

Existen una variedad de materiales con los que son fabricadas las tuberías, pero los más utilizados a nivel Nacional son las tuberías de PVC y cobre. (Duque, 2015).

➤ **PVC**

La tubería de PVC para conducción de agua potable está hecha de cloruro de polivinilo no plastificado. Este material es ligero, de fácil instalación y en la práctica han presentado buenos resultados en la resistencia de presiones a las cuales está sometida la red de distribución. Posee una ventaja que lo diferencia de otros, es la capacidad de no crea incrustaciones internas. (Arasmith, 2014; Duque, 2015)

➤ **Cobre**

La tubería de cobre es uno de los materiales más usados para la conducción de agua potable en el país, principalmente se emplean en conexiones domiciliarias. La característica primordial es su gran resistencia a las altas presiones, pero su costo es elevado dificultando su uso en alimentadores primarios. (Duque, 2015)

2.3.1.3 Válvulas. - Las funciones de las válvulas en las redes de distribución varían dependiendo de su tipo, entre algunos usos está: controlar la presión (válvula

reguladora), controlar el flujo, regular los niveles en los depósitos, aislar secciones de la línea (válvula de compuerta o válvula de mariposa), liberar aire, evitar el vacío en una línea de distribución (válvula de aire), etc. (Arasmith, 2014). Los materiales para la fabricación de las válvulas son muy versátiles como: acero inoxidable, acero al carbón fundido, acero forjado, bronce, hierro, Policloruro de vinilo (PVC) y Policloruro de vinilo clorado (CPVC).

2.3.2 Demanda de agua

En teoría, la demanda de agua (Q_d) coincide con la cantidad de agua utilizada por los consumidores (Q_c). Pero en la práctica, la demanda de agua (Q_d) es igual a lo consumido por los usuarios más la cantidad de agua perdida físicamente en el sistema a lo que se denomina fugas (Q_f), como se muestra en la ecuación 1. La demanda de agua se expresa comúnmente en metros cúbicos por segundo (m^3/s), litros por segundo (l/s), o litros per cápita por día (lpcpd). (Trifunovic, 2006)

$$Q_d = Q_c + Q_f \quad \text{Ec. (1)}$$

2.4 MODELOS MATEMÁTICOS EN REDES DE DISTRIBUCIÓN

Los modelos matemáticos permiten la simulación del funcionamiento hidráulico de la red de distribución, para lo cual se requiere que exista relación de similitud entre las condiciones observadas en el campo y las calculadas en los programas.

Los modelos para el análisis de sistemas de distribución han ido evolucionando a través del tiempo, partiendo de métodos de análisis de caudal en redes, posteriormente el desarrollo y extensión de modelos hidráulicos en computadoras y finalmente los modelos de calidad de agua en redes de distribución (Alcocer-Yamanaka, 2007). En la Ilustración 2 se observa el desarrollo histórico de los modelos de simulación matemática.

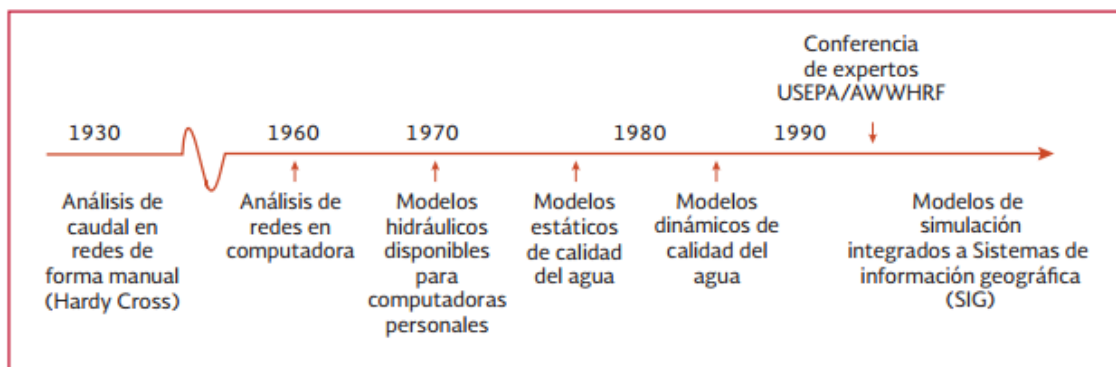


Ilustración 2 Desarrollo histórico de los modelos de simulación. (Fuente: Alcocer-Yamanaka, 2007)

En base al desarrollo que se ha generado en los modelos de simulación durante los años, la clasificación de los mismos se orienta a los objetivos que persigue y las variables de interés del sistema entre los que se encuentran los modelos hidráulicos y modelos de calidad de agua.

2.4.1 Modelos hidráulicos

Estos modelos están basados en el cálculo de caudales y presiones dentro de la red de distribución de agua, el desarrollo de estos modelos requiere establecer las condiciones iniciales de nodos, tuberías, válvulas, tanques y demandas horarias; para realizar este modelo se requiere realizar los siguientes pasos:

- Recolectar datos de los componentes que formaran parte del modelo
- Simplificar la red de tuberías en base la información disponible
- Integrar los componentes físicos de la red
- Asignar las demandas en los puntos de consumo en base a un análisis
- Calibrar el modelo mediante mediciones de presión y caudales, así como la realización de ajuste del modelo.

Finalmente, se cuenta con el modelo hidráulico y dado que en las redes de distribución se producen cambios se debe actualizar cada vez que se presente cualquier variación.

En el modelo hidráulico todos los elementos del sistema están conectados y relacionados entre sí, el modelo debe funcionar correctamente cumpliendo las leyes de la conservación de la masa y la energía.

2.4.1.1 Conservación de la masa

Este principio manifiesta que la masa de un fluido que entra a una tubería debe ser igual a la masa que sale de la tubería; en el modelo de la red, las salidas son agrupadas en los diferentes nodos o cruces; la ecuación 2 expresa este principio (Walski et al.,2001).

$$\sum Q_i - U = 0 \quad \text{Ec. (2)}$$

Dónde: Q_i = Entrada de agua en la i -ésima tubería (L^3/T), U = agua utilizada en el nodo (L^3/T)

Es importante considerar que, en simulaciones de períodos prolongados se almacena o retirar agua de los tanques, por lo que se requiere un término para describir la acumulación de agua en ciertos nodos, como se muestra en la ecuación 3

$$\sum Q_i - U - \frac{ds}{dt} = 0 \quad \text{Ec. (3)}$$

Dónde: $\frac{ds}{dt}$ = cambio en el almacenamiento (L^3/T)

La ecuación de conservación de masa se aplica a todos los nodos de unión y tanques en una red, y se escribe una ecuación para cada uno de ellos.

2.4.1.2 Conservación de la Energía

Este principio de conservación de energía manifiesta que la diferencia de energía entre dos puntos debe ser la misma independiente del camino que se tome (Walski et al., 2001). Dentro del análisis hidráulico la ecuación 4 se describe como:

$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + \sum h_p = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + \sum h_L + \sum h_m \quad \text{Ec. (4)}$$

Dónde: Z= elevación (L), P= presión (M/LT^2), γ = peso específico del fluido (M/L^2T^2), V= velocidad (L/T), g= aceleración de la gravedad (L/T^2), h_p = cabeza añadida en las bombas (L), h_L = pérdida de carga en las tuberías (L) y h_m = pérdidas menores (L).

La diferencia de energía entre dos puntos conectados a la red de distribución es igual, a las ganancias de energía en las bombas y las pérdidas de energía en los accesorios y tuberías, que se van generando al transportar el fluido a través de la red.

a. Pérdida de carga. - la pérdida de carga o altura piezométrica en las tuberías se dan debido a la fricción, se puede calcular a partir de tres fórmulas diferentes (García, 2006):

1. Hazen-Williams: No puede ser usada para líquidos distintos al agua y es usada para flujo turbulento.
2. Darcy-Weisbach: Considerada como la más correcta ya que se aplica a todos los regímenes y todos los fluidos
3. Chezy-Manning: Es utilizada para canales y tuberías de gran diámetro y donde la turbulencia es desarrollada.

Las tres fórmulas emplean la misma ecuación para determinar la pérdida de carga entre el nodo de entrada y de salida (Ecuación 5):

$$h_L = Aq^B \quad \text{Ec. (5)}$$

Donde, h_L = pérdida de carga (Longitud), q = caudal (Volumen/tiempo), A= coeficiente de resistencia, B= exponente de caudal. En la Tabla 1 encontramos las expresiones de coeficiente de resistencia y los valores de exponente de caudal para las formulas indicadas anteriormente:

Tabla 1 Fórmulas de pérdida de carga en una tubería llena (las pérdidas se expresan en mca y el caudal en m³/s). (Fuente: García, 2006)

Fórmula	Coficiente de Resistencia (A)	Exponente de Caudal (B)
Hazen-Williams	$10.674 C^{-1.852} d^{-4.871} L$	1.852
Darcy-Weisbach	$0.0827 f(\epsilon, d, Q) d^{-5} L$	2
Chezy-Manning	$10.294 n^2 d^{-5.33} L$	2
<p>donde:</p> <p>C: coeficiente de rugosidad de Hazen-Williams</p> <p>ϵ: coeficiente de rugosidad de Darcy-Weisbach (m)</p> <p>f: factor de fricción (depende de ϵ, d y Q)</p> <p>n: coeficiente de rugosidad de Manning</p> <p>d: diámetro de la tubería (m)</p> <p>L: longitud de la tubería (m)</p> <p>Q: caudal (m³/s)</p>		

El coeficiente de rugosidad es distinto para cada fórmula y debe determinarse de manera empírica. En la Tabla 2 se muestran los rangos de variación de los coeficientes para tuberías nuevas de distintos materiales (García, 2006). Sin embargo, estudios realizados en tuberías de PVC demuestran que el factor de fricción para Hazen-Williams de 150 es demasiado alto para el uso en redes de distribución (Varaprasad, 2012).

Tabla 2 Coeficientes de rugosidad para tuberías nuevas. (Fuente: García, 2006)

Material	C Hazen-Williams (universal)	ϵ Darcy-Weisbach (mm)	n Manning (universal)
fundición	130 – 140	0.26	0.012 – 0.015
hormigón	120 – 140	0.3 – 3.0	0.012 – 0.017
hierro galvanizado	120	0.15	0.015 – 0.017
plástico	140 – 150	0.0015	0.011 – 0.015
acero	140 – 150	0.045	0.015 – 0.017
cerámica	110	0.3	0.013 – 0.015

b. Pérdidas menores: Las pérdidas menores o localizadas, se producen por el incremento de la turbulencia, ocasionadas por los cambios de direcciones en los codos y accesorios. El valor de la pérdida menor, es calculado al multiplicar el coeficiente de pérdidas menores con la energía cinética de entrada en la tubería, como se expresa en la ecuación 6:

$$h_L = K \left(\frac{v^2}{2g} \right) \quad \text{Ec. (6)}$$

Donde, K= coeficiente de pérdidas menores, v= Velocidad de flujo (longitud/tiempo), g= aceleración de la gravedad).

En la Tabla 3 se detallan valores de coeficientes de pérdidas menores para accesorios comunes, además estos valores dependen a su vez de la geometría, número de Reynolds y en ocasiones del tipo de flujo (Rossman, 2000)

*Tabla 3 Coeficientes de pérdidas menores para diferentes accesorios de una red de agua potable.
(Fuente: Çengel & Cimbala, 2006; L. Rossman, 2000)*

Conectores	Coeficiente de pérdidas
Válvula de Globo, totalmente abierta	10
Válvula de Ángulo, totalmente abierta	5
Válvula de Retención de Clapeta, totalmente abierta	2.5
Válvula de Compuerta, totalmente abierta	0.2
Válvula de Compuerta, $\frac{1}{4}$ cerrada	0.3
Válvula de Compuerta, $\frac{1}{2}$ cerrada	2.1
Válvula de Compuerta, $\frac{3}{4}$ cerrada	17
Codo de radio pequeño	0.9
Codo de radio medio	0.8
Codo de radio Grande	0.6
Codo de 45°	0.4
Codo cerrado con inversión de flujo	2.2
Te estándar- dirección de paso	0.6
Te estándar- dirección de desvío	1.8
Entrada Recta	0.5
Salida Brusca	1
Expansión 20°	0.02
Expansión 60°	0.07
Contracción 20° ($d/D = 0.2$)*	0.3
Contracción 20° ($d/D = 0.6$)*	0.15
* D = diámetro mayor, d= diámetro menor	

2.4.1.3 Tipos de modelos hidráulicos

Existen dos tipos de modelos hidráulicos en función de la variable tiempo que son los modelos estáticos y dinámicos.

a) Estáticos de flujo permanente

En estos modelos se considera que los caudales demandados e inyectados en la red permanecen constantes, que el nivel de los tanques permanece fijo y que no hay variaciones en la operación de la red. Cabe mencionar que las redes de distribución no permanecen invariables en el tiempo. La finalidad con la cual se usan estos modelos es para analizar el comportamiento de la red con caudales máximos horarios, sometiéndole a condiciones desfavorables. También son usados como condición de

partida para modelos complejos como los cuasiestáticos o los periodos extendidos. (Alcocer-Yamanaka, 2007).

b) Dinámicos o de flujo no permanente

En los modelos dinámicos se considera la variación temporal de caudales tanto demandados como inyectados en la red, variaciones en las condiciones operativas de la red y niveles de los tanques. Simula la evolución temporal de la red en un intervalo de tiempo. (Alcocer-Yamanaka, 2007)

2.4.2 Modelos de calidad

Los modelos de calidad aparecieron a finales de los años 80, cuando los desarrolladores de modelos hidráulicos sintieron la necesidad de agregarlos, por el gran potencial que proyectaban en el análisis de la calidad del agua. Las simulaciones de calidad de agua utilizan la información de los modelos de simulaciones hidráulicas para sus cálculos, por lo que se dice que estos dos modelos están directamente ligados. (Walski et al., 2001)

El objetivo de los modelos de calidad es determinar la evolución de los parámetros de calidad del agua desde la planta de tratamiento hasta el grifo del consumidor, donde finalmente debería verificarse que se cumplen las normas establecidas.

Los modelos de calidad establecen el comportamiento de los parámetros de calidad en los sistemas de abastecimiento, con el fin de verificar si cumple con las normas establecidas. Poseen una gran variedad de aplicaciones, incluyendo el análisis de rutas del flujo, modelos de desinfección, optimización de la calidad del agua, dinámica de los contaminantes, determinación de los lugares apropiados de muestreo, entre otros. (Savic et al., 2009; Vidal et al., 1994). Esto es gracias a los procesos físicos y químicos con los que trabaja el modelo, como el transporte, la mezcla y el decaimiento o incremento de la concentración. (Walski et al., 2001)

Una ventaja de estos modelos, es que permiten determinar la concentración, el tiempo de residencia y el recorrido de la sustancia modelada, en cada uno de los puntos de la red y en cualquier momento de la etapa de simulación. El cálculo puede realizarse para sustancias conservativas (no reaccionan en el sistema. Ejemplo: Flúor) como no conservativas (reaccionan en el sistema. Ejemplo: Cloro). (Vidal et al., 1994)

La utilidad y fiabilidad de los resultados del modelo de calidad del agua dependen de la precisión del calibrado de los modelos hidráulicos. Además, si se desea modelar una sustancia no conservadora como el cloro libre, que es el caso de estudio, requiere un modelo de reacción adecuado y su calibración. (Savic et al., 2009).

2.4.2.1 Tasa de concentración de reactivos

Las reacciones de orden cero, primer y segundo, se usan comúnmente para modelar procesos químicos que ocurren en sistemas de distribución. (Walski et al., 2001). Se utiliza leyes matemáticas para obtener ecuaciones lineales y de esta manera identificar el orden al cual pertenece el reactivo. Las reacciones y sus ecuaciones resultantes se muestran en la Tabla 4 (Brown, 2015). En la Ilustración 3 se muestra el cambio de la concentración del reactivo [A], en función del tiempo para las tres órdenes de velocidad de reacción más comunes.

Tabla 4 Transformaciones lineales de las ecuaciones de velocidad para el orden de reacción cero, primero y segundo. (Fuente: Brown, 2015)

Orden de reacción \ Ecuación	Orden cero	Primer orden	Segundo orden
Ecuación de velocidad	$R = k$	$R = k[A]$	$R = k[A]^2$
Integración	$[A]_0 - [A]_t = kt$	$\ln \frac{[A]_t}{[A]_0} = -kt$	$\frac{1}{[A]_t} - \frac{1}{[A]_0} = kt$
Forma lineal	$[A]_t = -kt + [A]_0$ $y = mx + b$	$\ln[A]_t = -kt + \ln[A]_0$ $y = mx + b$	$\frac{1}{[A]_t} = kt + \frac{1}{[A]_0}$ $y = mx + b$
Datos para la gráfica	$y = [A]$ $x = \text{tiempo}$ $m = -k$	$y = \ln[A]$ $x = \text{tiempo}$ $m = -k$	$y = \frac{1}{[A]}$ $x = \text{tiempo}$ $m = k$

2.4.2.2 Modelación de las reacciones químicas

El agua en el interior de la red de distribución, se somete a procesos físicos y químicos complejos, algunos de ellos poco estudiados y muchos de los cuales no se modelan. No obstante, los procesos químicos más importantes para los modelos cinéticos de decaimiento de cloro libre son: la reacción de Bulk y la reacción de Wall. (Mostafa, et al., 2013; Walski et al., 2001). En la ilustración 3 se presenta los tipo de ordenes de reacción.

a. Reacción de Bulk (K_b)

Estas reacciones se producen dentro del fluido y se puede describir su comportamiento mediante el orden de reacción “n”. En la ecuación 7 se muestra la expresión generalizada para reacciones de orden “n” para un solo reactivo (Walski et al., 2001). Si K_b es positivo significa que se está produciendo una reacción de formación y si es negativo una reacción de desintegración. (Rossman, 2000).

$$R(C) = \pm k_b \cdot C^n \quad \text{Ec. (7)}$$

Dónde: $R(C)$ = velocidad de reacción, k_b = Coeficiente de la velocidad de reacción, C = Concentración, n = orden de reacción.

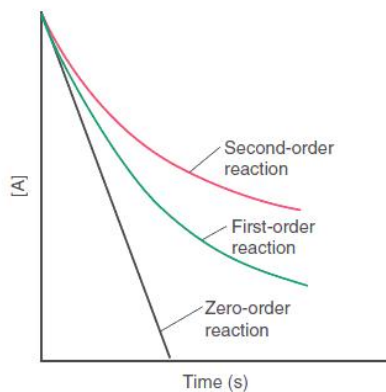


Ilustración 3 Tendencias de la concentración vs tiempo de los tres órdenes de reacción: cero, primero y segundo. (Fuente: Mostafa et al., 2013; Walski et al., 2001)

El modelo más utilizado de decaimiento del cloro es de primer orden ($n = 1$), y presenta una reacción de desintegración ($k_b < 0$). (Elsheikh et al., 2013; Walski et al., 2001). Por lo tanto, la ecuación 7 queda representada por la ecuación 8.

$$C_t = C_0 \cdot e^{-k_b \cdot t} \quad \text{Ec. (8)}$$

Dónde: C_t = concentración en un tiempo " t ", C_0 = concentración inicial, K_b = Coeficiente de la velocidad de reacción.

b. Reacción de Wall (K_w)

Esta reacción se produce en la pared de la tubería y está influenciada por el contacto del fluido con el área de pared disponible para la reacción. (Mostafa et al., 2013). Según Rossman (2000) la velocidad de reacción puede considerarse dependiente de la concentración del reactivo, quedando expresado con la ecuación 9.

$$R(C) = \frac{A}{V} \cdot k_w \cdot C^n \quad \text{Ec. (9)}$$

Dónde: $R(C)$ = velocidad de reacción, A/V = área superficial por unidad de volumen dentro de la tubería, K_w = Coeficiente de la velocidad de reacción de la pared del tubo, C = Concentración, n = orden de reacción.

2.5 SOFTWARE EPANET

EPANET es un software creado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) que permite realizar simulaciones en periodo extendido tanto del comportamiento hidráulico como de la calidad del agua en redes de distribución a presión. Además, constituye una herramienta que permite adquirir conocimiento del movimiento y el destino de los constituyentes del agua en una red de distribución. (Rossman, 2000). Existe una versión en idioma español traducido por la Universidad Politécnica de Valencia.

2.5.1 Capacidades hidráulicas del sistema

El análisis hidráulico de la red en el programa se realiza, en base a datos de las características físicas de las tuberías y dinámicas de los nodos en los que se encuentran las demandas, para proporcionar las presiones y caudales en los nodos y tuberías. Las características en este análisis son (Rossman, 2000):

- Calcula pérdidas de fricción en las conducciones con las expresiones Darcy-Weisbach, Hazen-Williams, Chezy-Manning.
- Incluye las pérdidas menores de codos, válvulas, acoplamientos, etc.
- Modela bombas funcionando a velocidad constante o variable.
- Modela varios tipos de válvulas incluyendo de Retención, Regulación, Reductoras de presión y controladoras de caudal.
- Permite que los tanques de almacenamiento presenten cualquier forma geométrica por lo que la sección del tanque puede cambiar con la altura.
- Considera múltiples categorías de demanda en los nodos, cada uno con su propio patrón de variación del tiempo.
- Modela el consumo dependiente de la presión que salen del sistema de emisores y aspersores.
- Puede basar el funcionamiento del sistema de manera simple con el nivel del agua en el tanque y controles del tiempo o en controles complejos de regulación temporal.

2.5.2 Capacidades de la Calidad de Agua

La modelación de la calidad de agua está basada en la variación espacial y temporal de parámetros de calidad del agua, el programa cumple las siguientes características (Rossman, 2000)

- Modela el comportamiento de un material reactivo a través de la red considerando su variación en el tiempo.



- Realiza seguimiento de sustancias no reactivas en la red.
- Modela la edad del agua en una red.
- Rastrea el porcentaje del fluido de un nodo dado a través todos los otros a lo largo del tiempo.
- Modela reacciones tanto en el fluido como en la pared de las tuberías.
- Utiliza cinética de orden n para modelar reacciones en el fluido.
- Usa coeficientes y ecuaciones de cero o de primer orden para modelar las reacciones en la pared de las tuberías.
- Toma en cuenta las limitaciones de la transferencia de masa en la modelación de reacciones con la pared de la tubería.
- Permite que las reacciones de crecimiento o decadencia continúen hasta una concentración límite.
- Emplea coeficientes generales de reacción que pueden modificarse de tubería a tubería.
- Permite correlacionar coeficientes de velocidad de reacción de pared con rugosidad de la tubería.
- Permite entradas de concentración o masa en cualquier punto de la instalación.
- Modela los depósitos de tres maneras como mezcla completa, flujo de pistos o dos compartimentos de mezcla.

2.5.3 Usos de EPANET

En base a las características tanto hidráulicas como de calidad del agua, antes mencionadas permite el estudio de fenómenos como:

- Edad del agua a lo largo del sistema
- Mezclado de agua de diferentes fuentes
- Crecimiento de los subproductos de desinfección
- Seguimiento de la contaminación en caso de propagación
- Disminución de cloro residual

2.5.4 Componentes de EPANET

El análisis de EPANET en una red de distribución agua potable, es considerado como un conjunto de líneas que están conectadas en sus extremos por puntos llamados nodos. Las líneas pueden representar tuberías, válvulas y bombas mientras que los puntos uniones, tanques y reservorios; además los puntos sirven para que el agua entre o salga de la red (Ruiz, 2004).

En la Ilustración 4 se visualiza como se conecta los diferentes componentes para formar el modelo de una red.

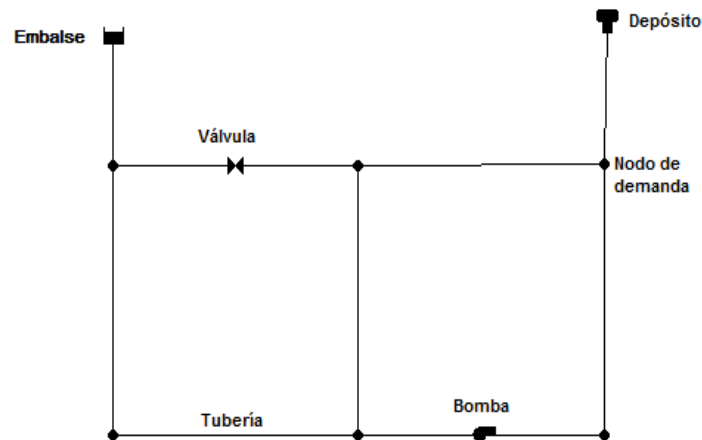


Ilustración 4 Componentes de una red en el programa EPANET. (Fuente: Autores, 2017)

A continuación, se detallan los componentes físicos del modelo:

2.5.4.1 Depósitos

Son nodos que representan un sumidero de agua a la red o una fuente extrema infinita, la principal característica es su altura piezométrica, son usados para modelar acuíferos subterráneos, lagos, ríos, también sirven para determinar el origen de la calidad de agua. Dado que es el punto límite este no se ve afectado por lo que suceda en la red.

2.5.4.2 Tanques

Son nodos con una capacidad de almacenamiento y el volumen va variando con el transcurso del tiempo (Rossman, 2000). Las propiedades de entrada son:

- Cota
- Diámetro
- Niveles máximos y mínimos de agua
- Calidad inicial del agua

Los principales productos calculados a lo largo del tiempo son la calidad del agua y nivel de la superficie libre de agua.

2.5.4.3 Conexiones o Nodos de demanda



Son puntos en la red donde se unen las líneas, la información que se requiere es: cota, demanda de agua y calidad de agua inicial (Rossman, 2000). Los resultados calculados a lo largo de la simulación son:

- Calidad de Agua
- Presión
- Altura Piezométrica

Los datos en las conexiones pueden:

- Tener una demanda que varíe con el tiempo
- Múltiples categorías de demanda asignadas
- Tener demandas negativas indicando que el agua está entrando a la red
- Ser fuentes de calidad de agua donde los constituyentes se incorporen a la red
- Contener emisores haciendo que del caudal descargado dependa la presión

2.5.4.4 Tuberías

Son líneas que trasladan el agua de un nodo a otro de la red. EPANET asume que las tuberías están llenas en todo momento; la dirección de flujo es de la mayor altura piezométrica (cota más la presión, o la energía interna por unidad de peso) a la menor altura piezométrica (Rossman, 2000). Los parámetros hidráulicos de entrada para las tuberías son:

- Nodos inicial y final
- Diámetro
- Longitud
- Coeficiente de rugosidad
- Estado (abierto, cerrado, o contiene una válvula de retención)

Los datos de calidad de agua para tuberías consisten en:

- Coeficiente de reacción en el medio
- Coeficiente de reacción con la pared de la tubería

Las salidas calculadas para tuberías incluyen:

- Velocidad de flujo
- Pérdida de Carga
- Caudal que circula
- Factor de fricción
- Velocidad de reacción media (sobre la longitud de la tubería)

- Calidad media de agua (sobre la longitud de la tubería)

2.5.4.5 Bombas

Las bombas son enlaces que incorporan energía a un fluido elevando la altura piezométrica. Los parámetros de entrada para las bombas son su entrada y salida, así como su curva característica (relación del caudal de la bomba y la altura).

Los resultados generados asociados a la bomba son el caudal y el incremento de la altura comunicada al fluido; el caudal fluye en una sola dirección dentro de la bomba y opera bajo las características de la curva establecida. También se puede considerar la variación de velocidad de las bombas, para lo cual se debe detallar la velocidad relativa del giro; EPANET a la curva original le supone una velocidad relativa de 1, si se incrementa o decrece la velocidad será corregida mediante un corrector (relative setting), al cambiar la velocidad se modifica la posición y la curva característica. Además, las bombas al igual de las tuberías pueden desactivarse o activarse si lo define el usuario o por las condiciones de la red. Si en el sistema la bomba requiere trabajar fuera de sus posibilidades EPANET tratará de desconectarle. Cuando se requiera un mayor caudal en la bomba al que está diseñada para trabajar el programa extrapolará la curva de la bomba hasta obtener el caudal requerido, así sea que produzca una altura negativa, se presentará un mensaje de advertencia en ambos casos (Rossman, 2000).

2.5.4.6 Válvulas

Las válvulas son líneas que controlan el caudal y la presión en determinados puntos de la red (Rossman, 2000). Los parámetros de entrada que se requieren son:

- Nodos de entrada y salida
- Diámetro
- Estado (forzando o no)
- Consigna

Los resultados generados son el caudal de paso y la pérdida de carga.

Existen diferentes tipos de válvulas con las que trabaja EPANET a continuación se detallan (Rossman, 2000):

- Válvulas Reductoras de Presión (VRP)
- Válvulas Sostenedoras de Presión (VSP)

- Válvulas de Rotura de Carga (VRC)
- Válvulas Limitadoras de Caudal (VCQ)
- Válvulas de Regulación (VRG)
- Válvulas de Propósito General (VPG)

Válvulas reguladoras de Presión (VRP): Regulan la presión en un punto determinado de la red y pueden trabajar en EPANET en tres estados:

- Parcialmente Abierta, para mantener la presión aguas abajo cuando la presión aguas arriba es mayor.
- Totalmente Abierta, si la presión aguas arriba es inferior al de la consiga.
- Cerrada, Usada para impedir el flujo inverso cuando la presión aguas abajo es mayor a la presión aguas arriba.

Válvulas sostenedoras de presión (VSP): Mantienen la presión evitando que la presión aguas arriba sea menor al valor de consigna. Se encontrará activa cuando aguas abajo la presión sea menor al valor de la consigna, abierta completamente si es superior; y cerrada para impedir el flujo inverso y la presión aguas abajo supera a la del nodo.

Válvulas de Rotura de Carga (VRC): Reducen la presión en el nodo aguas abajo en un valor igual al de la consigna.

Válvulas limitadoras de Caudal (VLQ): Limitan el caudal de paso en un valor determinado por la consiga, el programa emite un mensaje de advertencia cuando el caudal no se puede mantener sin un aporte de presión en la válvula.

Válvulas de Regulación (VRG): Son bidireccionales y simulan una válvula parcialmente cerrada, trabajan introduciendo coeficiente de pérdidas menores que está en función del caudal que las atraviesa.

Válvulas de Propósito General (VPG): Son usadas cuando las formulas hidráulicas no definen el comportamiento de la relación pérdidas-caudal, se utiliza para modelar pozos, turbinas o válvulas para reducir caudal.

Las válvulas de corte y válvulas de retención: No se consideran como líneas independientes sino se introducen en las características de la tubería y estas abren o cierran totalmente el flujo (Rossman, 2000).

2.5.4.7 Componentes No Físicos



En la descripción del comportamiento y aspectos operacionales en el sistema de distribución EPANET usa tres objetos informativos curvas, patrones y controles (Rossman, 2000).

Curvas de Comportamiento: Las curvas representan la relación entre dos magnitudes; las curvas características altura-caudal, de rendimiento (rendimiento y caudal), de volumen (volumen-caudal) o pérdidas de válvulas (pérdidas-caudal).

Curvas de Modulación o Patrones: Estas curvas son aplicadas cuando una magnitud varía con el transcurso del tiempo. Se utilizan para asociarse a demandas de los nodos, velocidad de giro de las bombas, alturas de los embalses, y fuentes de calidad de agua. Es importante establecer la secuencia de los factores multiplicativos en función de la magnitud que varía.

Controles: Se define como consignas que determinan como la red trabaja a lo largo del tiempo. Existen dos categorías de controles:

Simples: Cambian la consigna de una línea dependiendo de: la hora del día, nivel de agua en el depósito y la presión en el nodo.

Programados: Según la combinación de condiciones que se den en la red y una vez que el estado inicial hidráulico se programe, permite determinar el estado o la consigna de una línea.

CAPÍTULO 3

METODOLOGÍA

Para una mejor comprensión de la metodología se ha dividido el capítulo en tres apartados, en los cuales se describe primero el área de estudio, seguido del modelamiento hidráulico y por último el modelamiento de calidad.

3.1 ÁREA DE ESTUDIO

La red de distribución de agua potable del estudio se encuentra ubicada en la ciudad de Azogues, perteneciente a la provincia de Cañar en la República del Ecuador. Dicha ciudad tiene aproximadamente 218 kilómetros de tuberías, las cuales son administradas por la empresa EMAPAL EP. La extensión de la red dificulta la gestión por parte de la Empresa; por ende, para facilitar el manejo la red se divide en siete zonas: Zona de Uchupucún, Zona de Bayas, Zona Alta, Zona Principal, Zona Media, Zona de Zhapacal y Zona la Playa (Ilustración 5).

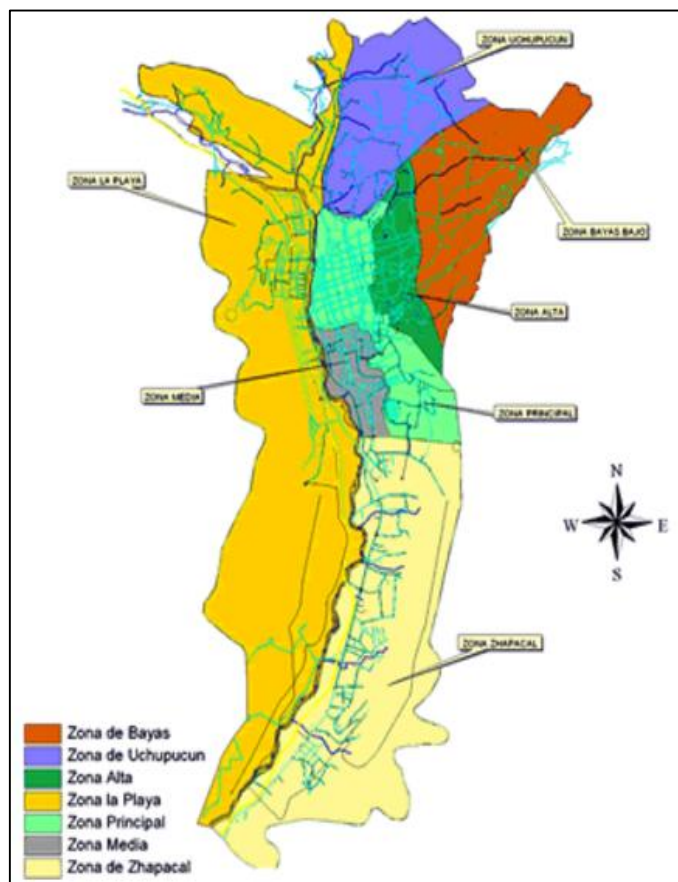


Ilustración 5 Mapa de la zonificación de la red de agua potable en la ciudad de Azogues. (Fuente: EMAPAL EP, 2016)

Zona de Uchupucún conjuntamente con la Zona de Bayas es conocida como zona de Mahuarcay, debido a que son abastecidos por tanques ubicados en la Planta de tratamiento de Mahuarcay.

Para la simulación hidráulica se escogió únicamente la Zona Alta (Ilustración 6) por ser una red nueva del Cantón (aproximadamente 6 años de servicio), teniendo la información necesaria para llevar a cabo el modelo.

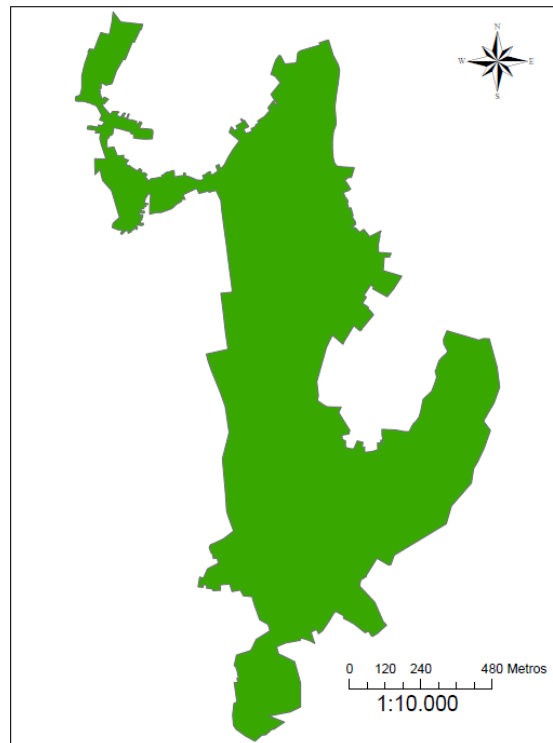


Ilustración 6 Mapa de la superficie de la Zona Alta (Fuente: Autores, 2017).

3.2 MODELO HIDRÁULICO

El modelo hidráulico es una parte clave para obtener resultados confiables en el modelo de calidad, por esa razón, se utilizó un amplio grado de detalle en el estudio considerando tuberías primarias, secundarias y tanque de distribución. También, para la simulación temporal de la red se aplica un modelo dinámico de flujo no permanente en periodo extendido, debido a que permite la variación temporal progresiva de los caudales demandados en los nodos y las variaciones en las condiciones operativas de la red y niveles de los tanques. (Alcocer-Yamanaka, 2007)

EPANET requiere por lo menos los siguientes datos para la simulación: Conexiones entre las tuberías (topología de la red), tuberías (diámetro interior, longitud, coeficientes de fricción y coeficientes de pérdidas menores), válvulas (abiertas, cerradas o semiabierta), tanques (dimensiones, nivel de agua), nodos (elevación,

demanda de agua, coeficientes de variación de la demanda dentro de las 24 horas del día)

Los resultados que se obtiene con el modelo en cada instante son: el gasto en las tuberías, niveles en los tanques, presión y demanda en los nodos (Ilustración 7).

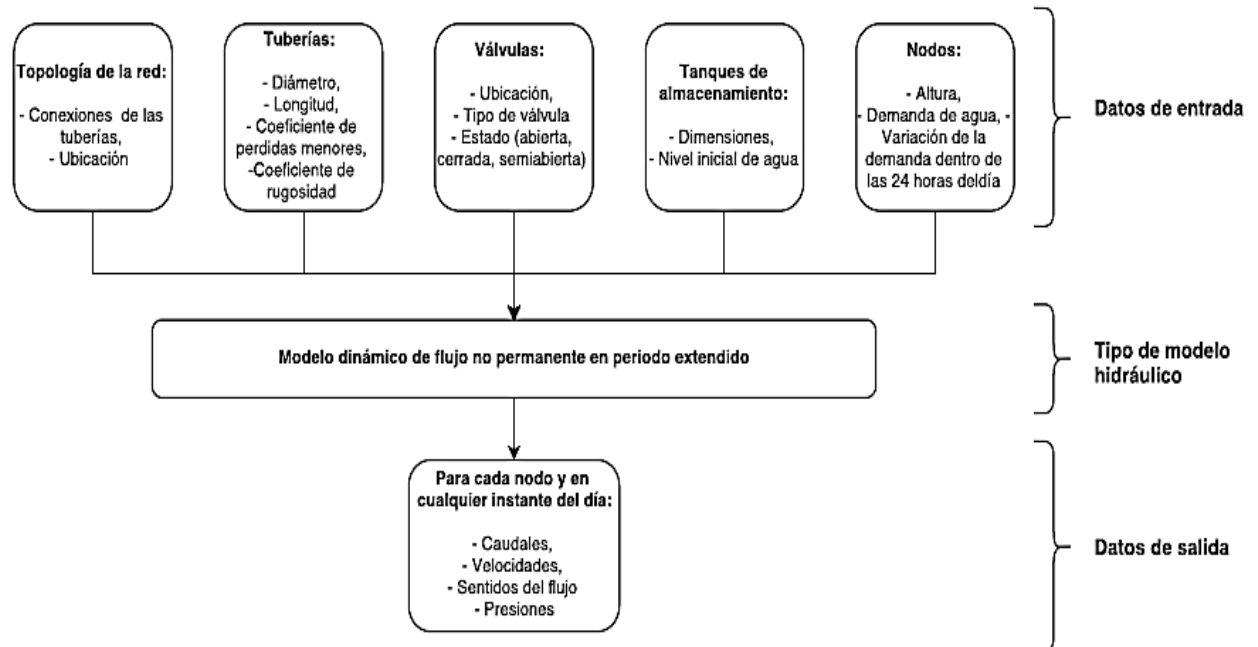


Ilustración 7 Diagrama para la simulación de un modelo hidráulico de flujo no permanente en periodo extendido con EPANET. (Modificado con datos de Alcocer-Yamanaka, 2007)

3.2.1 Recopilación de los datos

3.2.1.1 Mapas digitales

La información digital de los planos de la red de agua potable de la zona de estudio fue proporcionada por la EMAPAL EP en formato drawing (.dwg) y shape file (.shp) en los cuáles consta la siguiente información:

- Topología:** La red de distribución es considerada tipo mixta, ya que cuenta con partes ramificadas y malladas como describe la Ilustración 8.
- Tuberías:** Toda la extensión de la red en la Zona Alta es de PVC y tiene una longitud aproximada de 26,6 kilómetros de tubería. En la Tabla 5 se muestra los diámetros nominales de tuberías existentes y las longitudes que les corresponden con sus respectivos porcentajes.
- Válvulas:** Existen actualmente 80 válvulas entre las cuales se encuentra una reductora de presión y las restantes son reguladoras de caudal. Para el modelo se ha clasificado el estado de las válvulas según el porcentaje de abertura en:

abierta (80-100), cerrada (0-20), y abierta la mitad o semiabierta (20-80) (Anexo 1).

- d) Tanques:** La capacidad de almacenamiento del tanque que abastece de agua potable a toda la Zona Alta es de aproximadamente 500 metros cúbicos, cuyo diámetro es de 15 metros y tiene una altura de 4 metros. Por lo general el tanque permanece lleno para evitar que en las horas de mayor consumo exista un desabastecimiento de agua.

En la Ilustración 8 se muestra la ubicación del tanque de almacenamiento y de las válvulas, así como también la distribución de las tuberías por su diámetro.

Tabla 5 Tuberías existentes en la Zona Alta. (Fuente: Autores, 2017)

Diámetro nominal (mm)	Longitud (Km)	Porcentaje (%)
63	22.31	83.8
110	3.25	12.2
160	0.52	1.9
200	0.56	2.1
Total	26.6	100

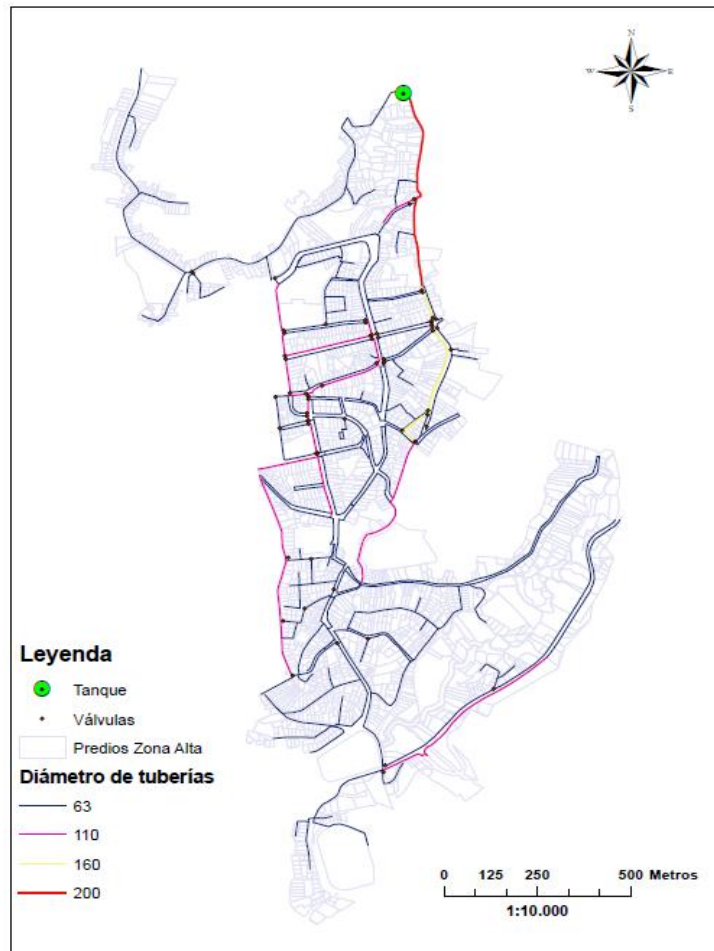


Ilustración 8 Red de distribución de agua potable de la Zona Alta. (Fuente: Autores, 2017)

3.2.1.2 Extracción de información específica

a) Elevación

Se determinó las elevaciones en los vértices de las tuberías con el programa ArcGIS 10.3.1; para lo cual se utilizó los shapes de la red de distribución y de la topografía (curvas de nivel) de la Zona Alta (Ilustración 9a). Para el procesamiento de la información se usaron dos herramientas de análisis en 3D: la primera es “crear TIN” que convierte las curvas de nivel en una red de triangulación irregular (TIN) obteniendo una superficie en 3D (Ilustración 9b), luego con el uso de la siguiente herramienta “Interpolación forma” crea una entidad 3D de la red de tuberías interpolando los valores z del TIN (Ilustración 9c), por último, se exportó el shape procesado a formato dwg (Ilustración 9d).

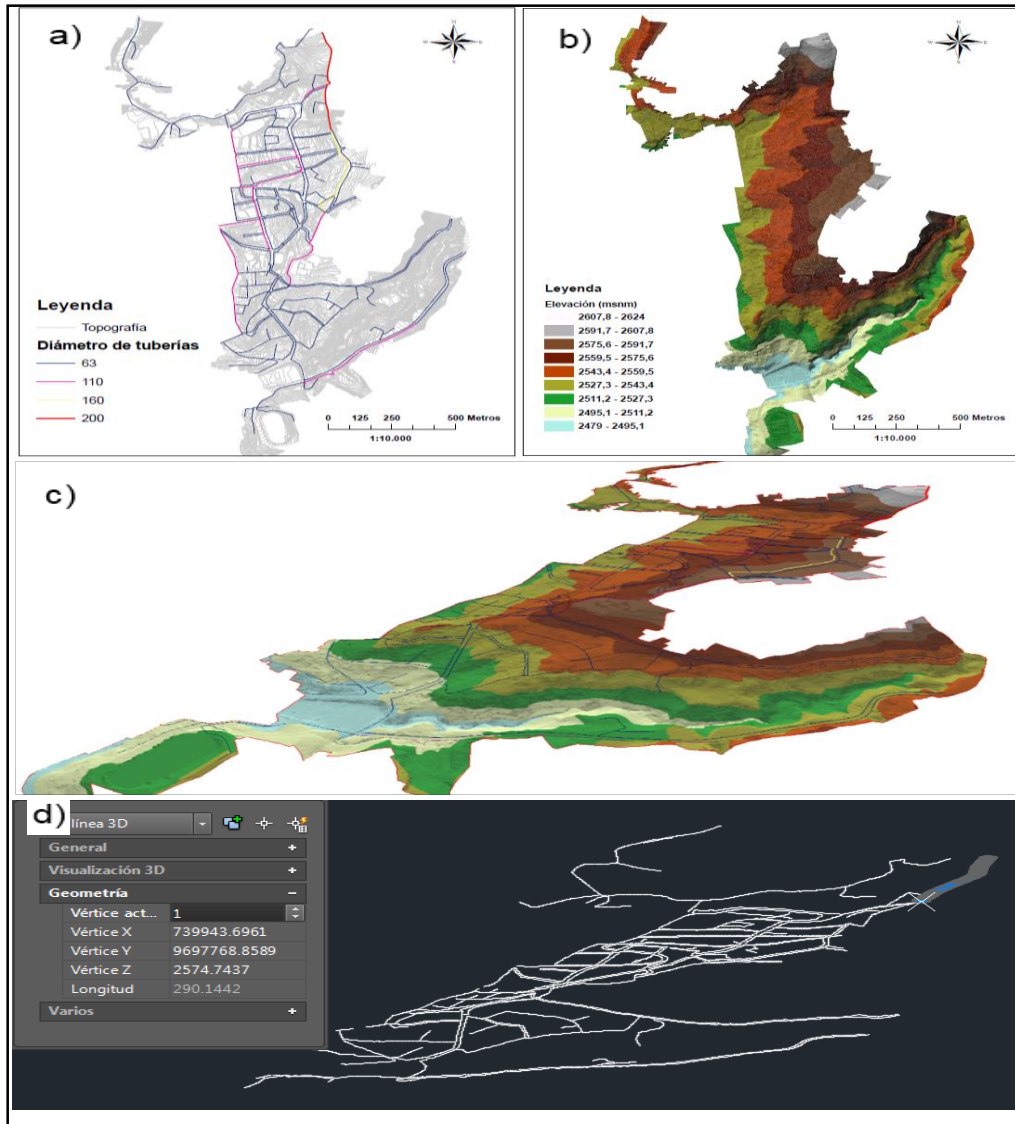


Ilustración 9 Proceso para el cálculo de las alturas en los vértices de las tuberías. a) Mapa base, b) Relieve 3D, c) Red en 3D, d) Red exportada en formato drawing. (Fuente: Autores, 2017)

b) Demanda

La demanda es un parámetro importante para la obtención de buenos resultados en el modelo hidráulico; por ende, su cálculo debe acercarse a la realidad del sistema. Para lograr esto, en el estudio se calculó la demanda máxima promedio y se graficó la curva de variación horaria.

➤ Demanda máxima promedio

La Información que se necesitó para el cálculo de la demanda es un mapa de los predios y del sistema de distribución de agua. Para la obtención de resultados fiables los datos de los predios fueron filtrados por el área de edificación escogiendo únicamente a los que poseían construcciones con un área mayor a 60 m² y

clasificados por el consumo en: bajo consumo (viviendas) y alto consumo (escuelas, colegios, mercados, centros deportivos, hospitales, etc.), luego se vinculó la demanda de cada predio a un nodo de la red de distribución, tratando siempre de ubicar al nodo más cercano o al que se puede considerar que abastece al consumidor (Ilustración 10). Según Alcocer-Yamanaka (2007) este método es confiable pero su procedimiento requiere de tiempo especialmente en redes extensas.

En la ilustración 10 se muestra un ejemplo de la asignación de usuarios a los diferentes nodos, como se puede observar al primer nodo se le asignaron 5 predios, al segundo 8 predios, al tercero 7 predios y al cuarto 4 predios.

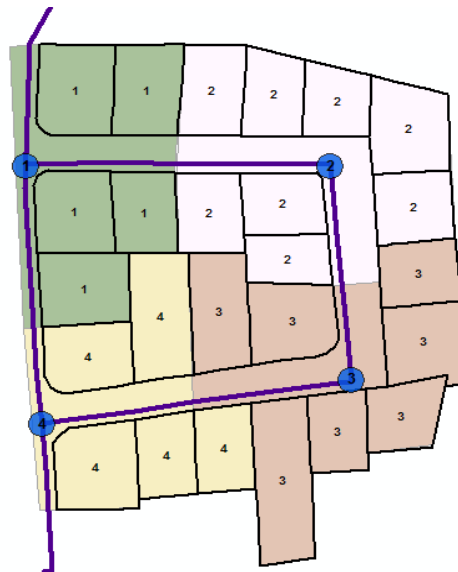


Ilustración 10 Ejemplo de asignación de las demandas a los diferentes nodos (Fuente: Autores, 2017)

Después de categorizar a las edificaciones por el consumo y determinar el número de predios que pertenecen a cada nodo, se procede a calcular las demandas nodales totales con la ecuación 10:

$$DT_n = Db_n + Da_n \quad Ec. (10)$$

Donde, DT_n = es la demanda total en el nodo "n", Db_n = la demanda de bajo consumo del nodo "n" y Da_n = la demanda de alto consumo del nodo "n" (Garzón, 2014)

Predios de bajo consumo

La fórmula utilizada para el cálculo está representada por la ecuación 11

$$Db_n = \frac{P \cdot H \cdot Q_{dh}}{86400} \quad Ec. (11)$$

Donde, P = número de predios asignados al nodo “ n ”, H = número de habitantes en cada predio y Q_{dh} = consumo total estimado en litros/persona/día. Las unidades resultantes son litros/segundo.

Se consideró el promedio de personas por hogar que utiliza la empresa EMAPAL EP de 4 habitantes por predio.

Tomando como base la ecuación 1 en donde se explica que el consumo total de agua por habitante día es resultado de la suma del consumo diario promedio por habitante más las pérdidas producidas en la red. En el Ecuador se considera el consumo diario promedio por habitante de 162 litros (Van den Berg et al., 2014) y las pérdidas totales de la red de distribución que maneja EMAPAL EP es del 50%. La dotación resultante aplicada la fórmula es de 324 l/hab/día.

Predios de alto consumo

Existen 7 predios de alto consumo en la Zona Alta entre los que se encuentra dos colegios, una escuela, un convento, un hospital del IESS, un estadio y un mercado. Se realizó el mismo procedimiento del cálculo de los predios de bajo consumo utilizando la ecuación 11, con la diferencia de que el cálculo del consumo total estimado “ Q_{dh} ” cambia dependiendo del consumo según la clasificación de actividad (Sistema Intermunicipal de Agua Potable y Alcantarillado, 2014; Sistema Nacional de Estándares de Urbanismo, 2011) como se muestra en la Tabla 6 “ H ” depende de las unidades con las que están representadas, por ejemplo, el número de estudiantes si son centros educativos, o m^2 si es un centro deportivo y mercado.

Tabla 6 Demandas promedio por edificación (Fuente: Sistema Intermunicipal de Agua Potable y Alcantarillado, 2014; Sistema Nacional de Estándares de Urbanismo, 2011)

Tipo de edificación	Dotación diaria	Unidad
Escuelas, colegios y universidades	40	Litros/estudiante
Conventos y monasterios	162	Litros/persona
Hospitales	500	Litros/consultorio
Centros deportivos	5	Litros/ m^2
Mercados	15	Litros/ m^2

➤ Curva de variación horaria demandada

La demanda de agua potable varía dependiendo de la ubicación de la zona de estudio, de las costumbres en el uso del agua que tienen los usuarios y de las horas del día (Garzón, 2014).

Para obtener los resultados se realizó los cálculos de los caudales de salida del tanque de almacenamiento de la Zona Alta durante 7 días, las mediciones se realizaron de lunes a viernes, considerando que se tiene una demanda similar entre estos días y se excluyeron a los fines de semana, en donde la demanda incrementa considerablemente los sábados y disminuye los domingos afectando los datos. Las mediciones fueron realizadas en el lapso de 2 a 3 horas diarias hasta completar las 24 horas del día. Una desventaja de la metodología utilizada es que no se podía medir el caudal más de 3 horas seguidas porque se corría el riesgo de dejar sin servicio de agua potable a la zona.

Todas las mediciones siguieron un mismo procedimiento: Primero se cerró la válvula que permite el ingreso de agua al tanque de abastecimiento de la Zona Alta (Ilustración 11a), permaneciendo la válvula de salida normalmente abierta para seguir abasteciendo del servicio a la ciudadanía.



Ilustración 11 Medición de la demanda horaria en el tanque de abastecimiento de la Zona Alta. a) Cierre de la válvula, b) Medición de nivel del tanque (Fuente: Autores, 2017)

Luego se midió la altura desde la tapa del tanque hasta la superficie del agua obteniendo una altura inicial (Ilustración 11b).

Cada tres minutos se procedió a medir nuevamente la altura hasta llegar al tiempo programado

Después con la ecuación 12 se calculó el caudal promedio consumido para cada hora del día en litros/segundo,

$$Q_{p_n} = \Delta H \cdot \pi \cdot r^2 \cdot t \cdot \frac{1000}{3600} \text{ Ec. (12)}$$

Donde, Q_{p_n} = caudal promedio consumido en la hora “n” en metros cúbicos, ΔH = diferencia de la altura inicial y final de la hora “n” en metros, r = radio del tanque en metro, t = 1 hora. Las unidades resultantes son l/s.

Por último, con los datos de caudal generados se calculó los coeficientes de variación en función del máximo valor de la demanda con la ecuación 13.

$$Co_n = \frac{x_n}{x_{max}} \text{ Ec. (13)}$$

Donde, Co_n = coeficiente del caudal consumido en la hora “n”, x_n = es el caudal consumido en la hora “n” y x_{max} = es el caudal máximo consumido (Rossman, 2000).

Se realizó la operación con el máximo valor consumido ya que el software utilizado para la modelación multiplica los coeficientes con la demanda ingresada.

Luego se graficó los 24 datos obtenidos para realizar una curva de variación horaria de la demanda en función del tiempo y los coeficientes en función del tiempo para determinar el comportamiento del consumo (Ilustración 30).

c) Coeficientes de pérdidas menores

Para el coeficiente de pérdidas menores se tomó en cuenta las válvulas y las tuberías, en las válvulas se designaron los coeficientes de pérdidas dependiendo de la fracción de abertura (Anexo 1). Mientras, que para calcular el coeficiente de pérdidas menores en tuberías se tomó en cuenta los codos de 45 y 90 grados y las T de desvío y lineales. Se asignó los valores según la Tabla 3 de coeficientes de pérdidas menores para diferentes accesorios de una red de agua potable detallada en el capítulo 2. Se sumó todos los coeficientes que se encontraba en la tubería colocando en el programa EPANET el valor calculado en cada una de las tuberías (Anexo 2).

d) Coeficiente de rugosidad

Estudios realizados a tuberías de PVC han demostrado que los coeficientes de rugosidad tanto para H-W y D-W no son constantes y varían por la edad de la tubería (Flechas, 2012). Entonces, al utilizar cualquiera de las ecuaciones antes mencionadas se debe tener en cuenta si los coeficientes a utilizar son los correctos para obtener mejores resultados. Para el caso de estudio se optó por utilizar la ecuación de H-W ya que se encontraron estudios donde obtenían coeficientes de rugosidad dependientes del tiempo de vida de las tuberías con un valor de 133 que según Hughes & Jeppson (1978) es un factor que se ajusta a tuberías de PVC de diámetros pequeño (40 mm – 63 mm) y con algunos años de uso.



3.2.2 Ingreso de datos a EPANET y simulación

Luego de recopilar la información los datos fueron ingresados a EPANET. A continuación, se presentará los pasos seguidos para realizar la primera simulación hidráulica.

1. EPANET al no aceptar la extensión de archivo presentado por AUTOCAD se requirió de una transformación. El software EPACAD (creado por la Universidad Politécnica de Valencia) permite convertir el fichero drawing exchange format (.dxf) que contiene la red de distribución, en un fichero de datos de entrada (.inp) ejecutable por el programa de simulación.
2. Se cargó la red en EPANET y se dibujó los elementos faltantes como: el tanque de almacenamiento y las válvulas.
3. Posteriormente se dio nombre a las etiquetas ID (nodos, tuberías, válvulas y tanque) según el orden deseado y al mismo tiempo se insertó los datos necesarios para cada componente (Ilustración 12).
4. Se digitó los datos de los coeficientes de variación del caudal en el editor de patrones de las demandas en el programa (Ilustración 13)
5. Se realizó la simulación.

Tubería 1

Propiedad	Valor
*ID Tubería	
*Nudo Inicial	1
*Nudo Final	2
Descripción	
Etiqueta	
*Longitud	1000
*Diámetro	
*Rugosidad	
Coef. de Pérdidas	
Estado Inicial	Abierto
Coef. Flujo	
Coef. Pared	

Conexión 1

Propiedad	Valor
*ID Conexión	
Coordenada-X	1161.02
Coordenada-Y	8084.75
Descripción	
Etiqueta	
*Cota	
Demanda Base	
Patrón de Demanda	
Categoría de Demanda	1
Coef. Emisor	
Calidad Inicial	
Fuente de Calidad	

Válvula v

Propiedad	Valor
*ID Válvula	
*Nudo Inicial	2
*Nudo Final	1
Descripción	
Etiqueta	
*Diámetro	
*Tipo	
*Consigna	
Coef. Pérdidas	
Estado Fijo	
Caudal	No Disponible
Velocidad	No Disponible

Depósito 1

Propiedad	Valor
*ID Depósito	
Coordenada-X	2211.86
Coordenada-Y	8593.22
Descripción	
Etiqueta	
*Cota	
*Nivel Inicial	
*Nivel Mínimo	
*Nivel Máximo	
*Diámetro	
Volumen Mínimo	
Curva de Volumen	

Ilustración 12 Datos necesarios a ingresar en los diferentes componentes del software EPANET (Fuente: Rossman, 2000)



Ilustración 13 Editor de Patrón (Fuente: Rossman, 2000)

3.2.3 Calibración del modelo

Para la calibración del modelo hidráulico se aplicó la metodología de ajustes manual de parámetros, comparando los resultados del modelo con mediciones realizadas in situ hasta alcanzar un valor alto de correlación (Martínez et al., 2015).

La Ilustración 14 resume el proceso de calibración llevado a cabo, donde primero se comparó los datos de los caudales y presiones medidas en el campo con los resultados de la simulación, se observó si los datos coincidían, al no concordar los resultados se realizó un ajuste de parámetros de entrada (demanda máxima de cada nodo y/o el coeficiente de rugosidad de las tuberías), nuevamente se repitió los pasos hasta tener una afinidad con la realidad del sistema.

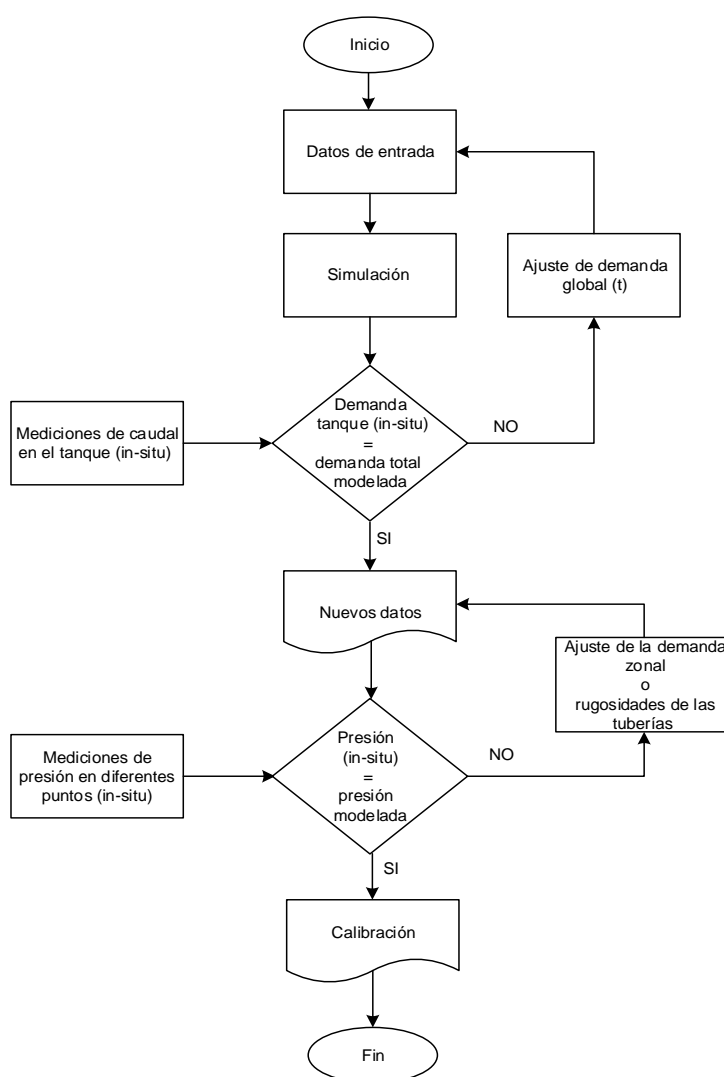


Ilustración 14 Procesos para la calibración de modelos hidráulicos (Modificado de: Martínez et al., 2015, 2017)

Para la primera etapa de comparación de la demanda total se utilizó las mediciones de los caudales del tanque de abastecimiento realizadas en el apartado de la obtención de la curva de variación horaria, de aquí se adquirió el máximo valor consumido que corresponde a las 9:00 am, cuyo dato fue comparado con la demanda simulada a la misma hora y como resultado se debe obtener valores iguales o parecidos, caso contrario se debe hacer una corrección aumentando o disminuyendo las demandas nodales en todo el sistema.

Mientras que, para la segunda etapa se comparó los resultados de las presiones simuladas con las presiones medidas; donde primero se planificó la lectura de las presiones utilizando un manómetro portátil con unidades en PSI (Ilustración 15) en 20 puntos de la red (Ilustración 16), las direcciones y coordenadas de los puntos se muestran en el anexo 3, luego se identificó los nodos a los cuales correspondían dichos puntos. Finalmente se realizó la transformación de las mediciones de PSI a m.c.a para la comparación con las presiones conseguidas en la simulación con EPANET correspondientes a la misma hora, con el fin de obtener los respectivos errores en cada medición y su correlación total.

En primera instancia para disminuir el error se ajustó las pérdidas (fugas) por zonas, transportando los porcentajes de consumo correspondientes a pérdidas (del 0% al 50% de la demanda) en las zonas donde la diferencia de los datos medidos y simulados sobrepasan los 5 m.c.a. a las zonas donde la diferencia de los mismos descende a valores menores a -5 m.c.a., esto se realizó ya que no existe la misma cantidad de pérdidas en toda la red de suministro. Luego para tener una correlación mayor entre los datos se procedió a cambiar los coeficientes de rugosidades de las tuberías en el rango de 127 a 150, considerando que no todas las tuberías de la red tienen la misma edad.



Ilustración 15 Medición de las presiones con el manómetro portátil en diferentes domicilios de la red de distribución de la Zona Alta

3.2.4 Validación del modelo hidráulico

La metodología utilizada para la validación del modelo hidráulico consistió en comparar las mediciones de campo con las simuladas, donde, primero se planificó una segunda medición de las presiones en 15 puntos de la red de distribución (Ilustración 17) a dos horas diferentes en los mismos puntos, la primera a las 9:00 y la segunda a las 14:00 el día 21 de Junio del 2017; esto se hizo para corroborar si los datos comparados tienen una correlación cercana a la calibrada.

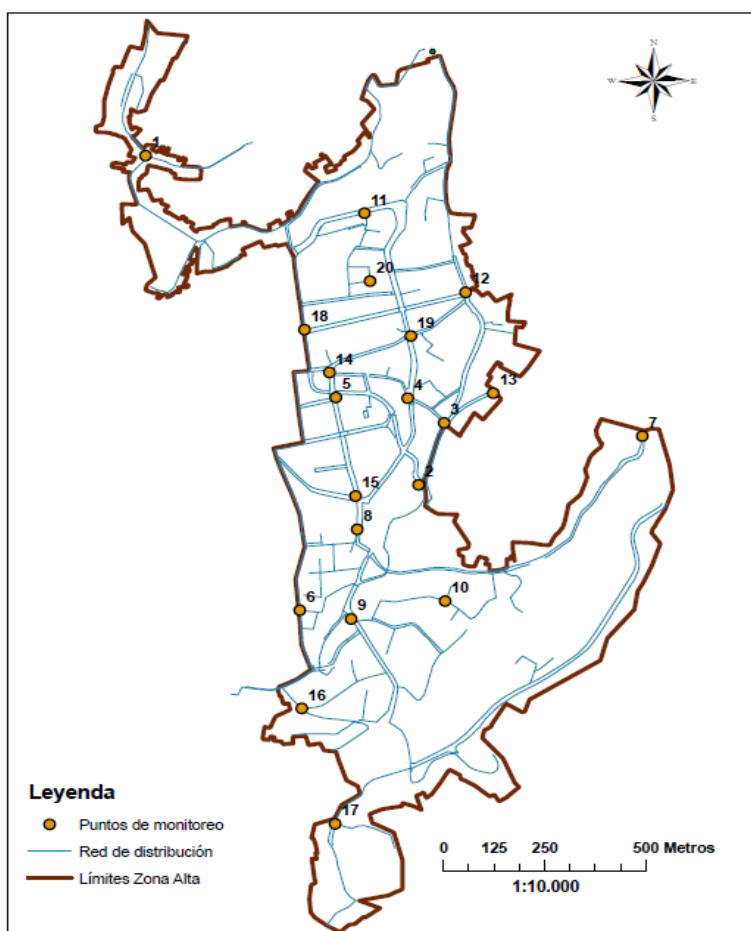


Ilustración 16 Puntos de medición de las presiones en la red de distribución de la Zona Alta para la calibración del modelo hidráulico.

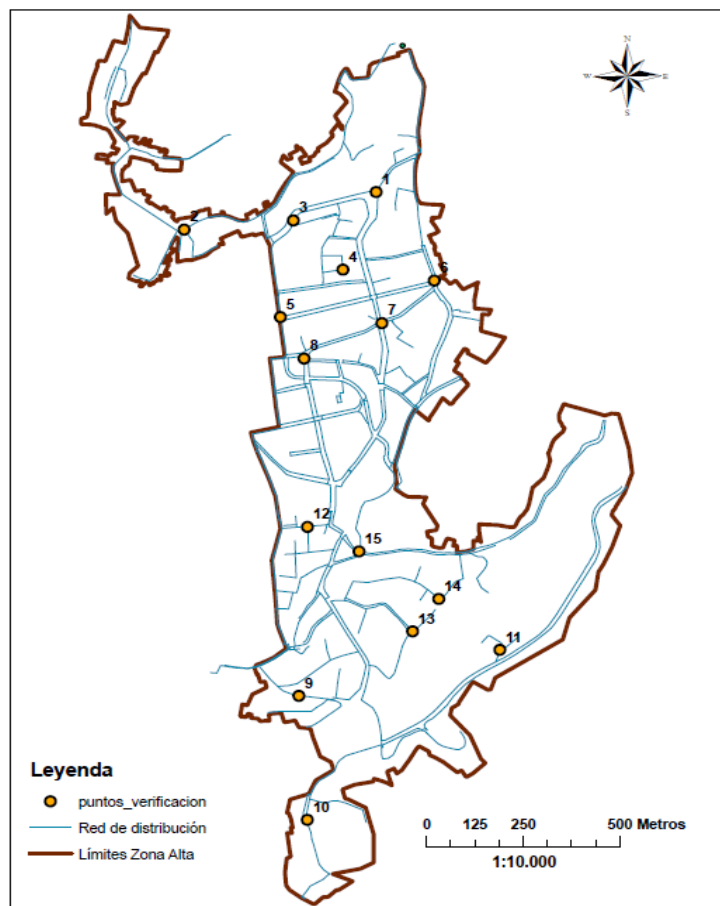


Ilustración 17 Puntos de medición de las presiones en la red de distribución de la Zona Alta para la validación del modelo hidráulico.

3.3 MODELO DE CALIDAD

3.3.1 Muestreo para la medición de cloro libre

3.3.1.1 Plan de muestreo

El plan de muestreo se estableció como parte de la planificación para evaluar la calidad del agua potable en la red de distribución, se definió los puntos de monitoreo, frecuencia de muestreo, metodología para medición de cloro libre, etc.

a) Identificación puntos de muestreo

Para la identificación de los puntos de muestreo se realizó un recorrido previo con un funcionario de EMAPAL EP por las 6 zonas de estudio, además se pidió los planos de la red de distribución para determinar de manera estratégica los puntos para la toma de muestras, se consideró cada uno de los puntos en base a la longitud de la línea de suministro y el número de usuarios. Finalmente se determinó 30 puntos de muestreo asegurando una correcta distribución en la ciudad sobre las distintas zonas y tomando en cuenta los tanques de abastecimiento y distancias adecuadas entre las diferentes viviendas Ilustración 18.

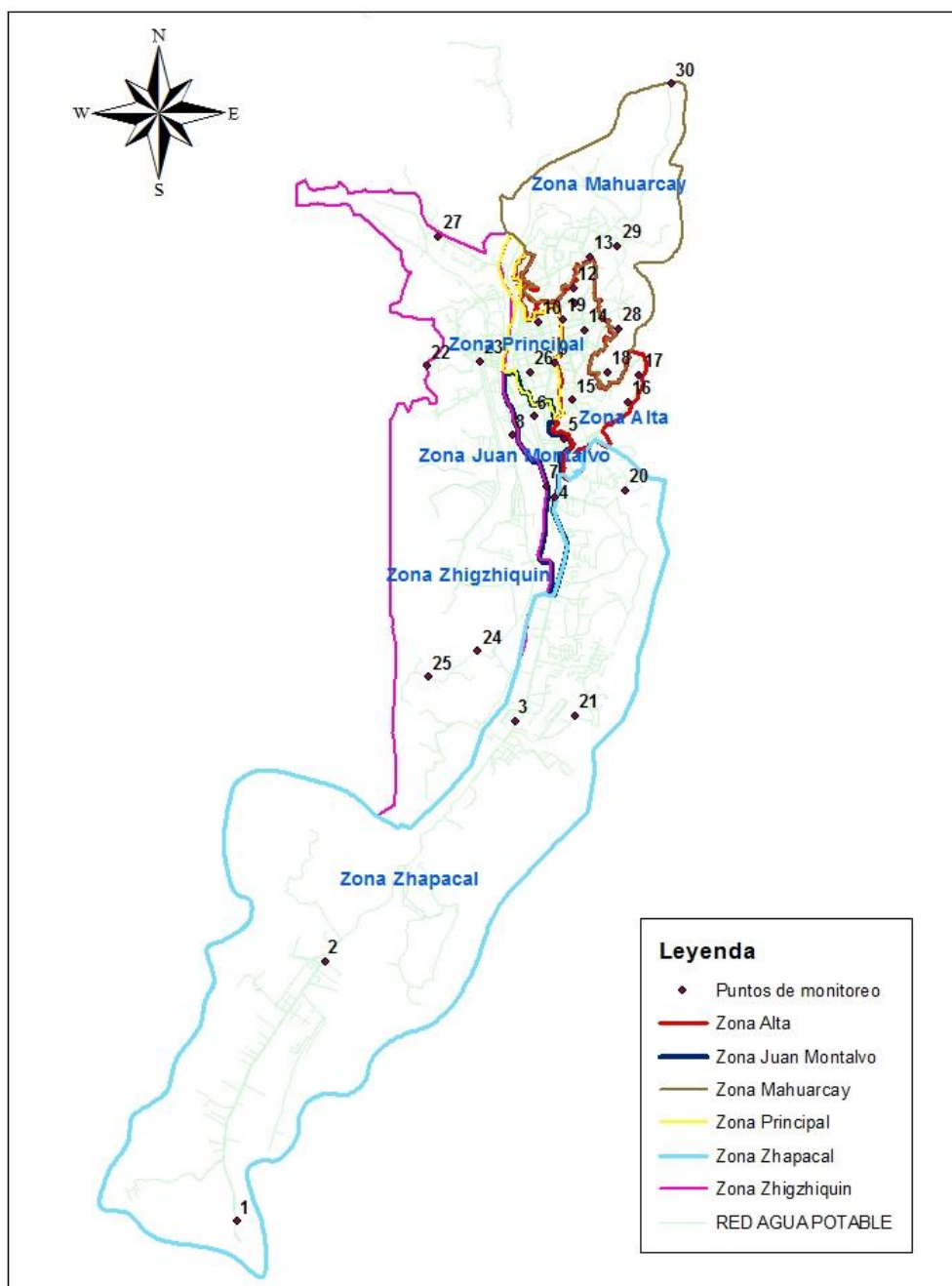


Ilustración 18 Puntos de muestreo en las 6 Zonas de estudio (Fuente: Autores, 2017)

Para la determinación de los puntos de muestreo de la Zona Alta se siguió el procedimiento anterior definiendo 20 puntos para la toma de muestras asegurando la correcta distribución en el área de estudio (Ilustración 19).

En los anexos 4A y 4B se detallan las coordenadas y los puntos de muestreo realizados en el estudio.

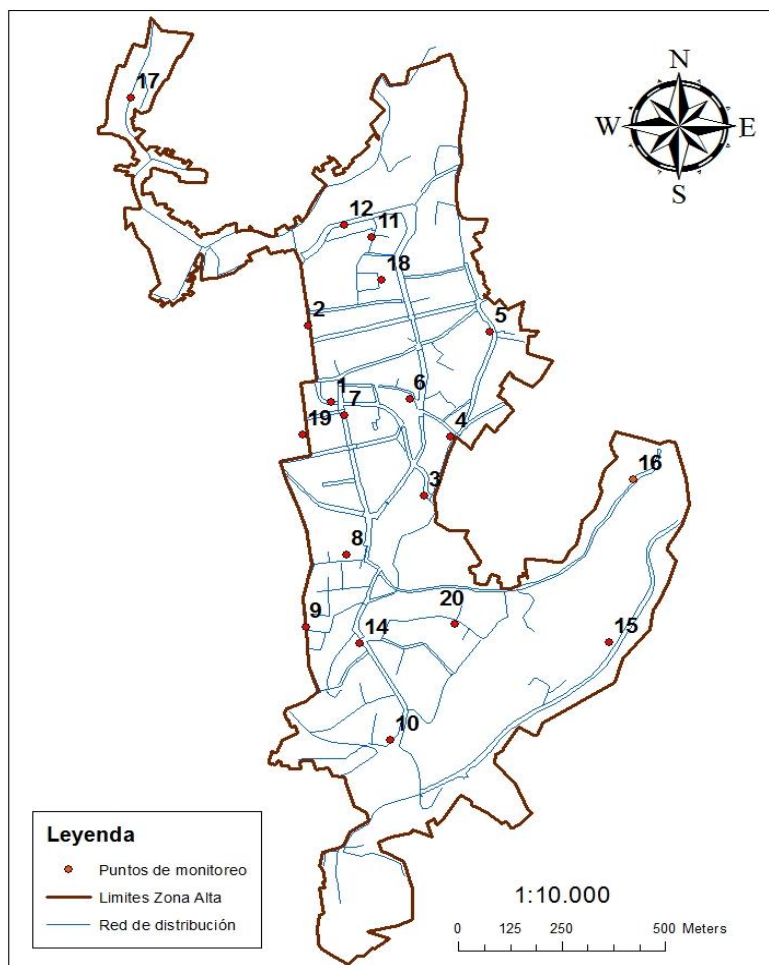


Ilustración 19 Puntos de muestreo para mediciones de cloro residual en la red de distribución de la Zona Alta

b) Frecuencia de muestreo

La frecuencia de muestreo para evaluar la calidad del agua potable, se realizó tomando muestras mensuales durante seis meses a partir de Julio a Septiembre de 2016 y de Enero y Febrero de 2017 en los 30 puntos de la red, y en el mes de Marzo del 2017 para la red de la Zona Alta; la toma de muestras no dependió de los periodos estacionales, ya que las plantas potabilizadoras que abastecen a la red de distribución mantiene la calidad de agua constante a la salida del sistema de tratamiento.

3.3.1.2 Muestreo

El tipo de muestra seleccionada para las caracterizaciones fue muestras simples, para la recolección se utilizó envases con capacidad de 1000 ml, previamente lavados y esterilizados, luego para proceder a recoger la muestra se homogenizó previamente de 2 a 3 veces con el agua a muestrear. En las Ilustración 20 e Ilustración 21 se observa la toma de la muestra número 14 en el recipiente de 1000ml en el sector Santa Bárbara. En el Anexo 5 se presenta fotografías de los muestreos realizados.



*Ilustración 20 Muestra Simple #14
correspondiente al sector Santa Bárbara*



*Ilustración 21 Recipiente de 1000 ml para
la toma de muestras*

a) Recolección y transporte de muestras

Para el manejo de las muestras se consideró el tipo de muestra, el intervalo de tiempo entre la toma de muestra y el análisis, así como las condiciones de almacenamiento y transporte. El desarrollo del plan de muestreo se ejecutó de acuerdo a las normas:

- NTE INEN 2176:1998 (Agua. Calidad del agua. Muestreo. Técnicas de muestreo)

Detalla en el numeral 5.1.2 los tipos de recipientes para la toma de muestras para el análisis de los parámetros físicos y químicos, para el muestro se utilizó envases de 1 L asegurándose que cumplan con todos los requisitos de la norma, para que no se produzca alteraciones y los datos de los análisis sean válidos.

- NTE INEN 2169:98 (Agua. Calidad del agua. Muestreo manejo y conservación de muestras):

En el numeral 4.1.1 de la norma, se menciona sobre el llenado de recipientes se describe que en muestras que se van a utilizar para la determinación de parámetros físicos y químicos, los frascos deben estar completamente llenos y taparlos de tal forma que no exista aire sobre la muestra para evitar la interacción de la fase gaseosa y la agitación durante el transporte.

En el numeral 4.1.5 y con respecto al transporte de las muestras se cumplió que los recipientes que contienen las muestras deben ser protegidos y sellados de manera que no se deterioren o se pierda cualquier parte de ellos durante el transporte. Además, las muestras se colocaron en una caja térmica para proteger las muestras de la luz y mantener un ambiente fresco. Cada uno de los envases utilizados fue previamente codificado con sus respectivos números y ubicación para ser correctamente identificados y evitar confusiones.

En la Ilustración 22 se observa que el recipiente cumple con los parámetros establecidos en esta norma con su etiqueta correspondiente para evitar confusiones.

- NTE INEN 2226:2000 (agua calidad del agua. Muestreo. Diseño de los programas de muestreo).

En el numeral 3.4.8 de la norma, respecto al agua potable se determinaron los puntos de muestreo de tal forma que permitan monitorear el cloro residual.

La recolección de las muestras de agua en los grifos se realizó dejando correr el agua por unos minutos para evitar recolectar agua reposada, y para las muestras de los tanques se utilizó un recipiente atado una soga para la toma de muestras.

	NÚMERO DE MUESTRA	SITIO DE MUESTREO: BOSQUE AZUL
	11	FECHA DE MUESTREO:
		TIPO DE MUESTRA: SIMPLE
		DATOS MEDIDOS EN EL SITIO: CLORO LIBRE (mg/l)
		REPOSABLES: Christian Guanuchi, Juan Ordóñez

Ilustración 22 Recipiente etiquetado para la recolección de muestras (Fuente: Autores, 2017)

b) Medición de cloro residual libre

Una vez tomadas las muestras de agua se procedió de manera inmediata con la medición de la concentración de cloro libre, el análisis de cloro libre se lo realizó in-situ y en el laboratorio mediante el método D.P.D., con un equipo colorimétrico digital marca HACH 890 (el certificado de calibración del equipo utilizado se encuentra en el anexo 8), estos análisis inicialmente se los realizaron en el lugar donde se tomó la muestra, para luego seguir con la medición del decaimiento en el laboratorio. Los pasos a seguir para la medición son los siguientes:

- Realizar la ficha de muestreo correspondiente a cada punto
- Llenar con 10 ml las dos celdas con el agua de la muestra
- Colocar el reactivo Dietil-p-fenilen-diamina (D.P.D.) en una de las celdas
- Secar las celdas
- Encender el Equipo y usar el programa de medición de cloro libre
- Colocar la celda sin reactivo, tapar y encerrar el equipo
- Colocar la celda con reactivo, tapar y medir el cloro libre
- Observar y anotar el resultado

3.3.2 Determinación del coeficiente de reacción de masa (K_b)

Mediante los datos obtenidos de las mediciones de cloro, horas e intervalos de tiempo, se realizó tablas en Microsoft Excel y con la utilización del método gráfico se determinó el orden de reacción (Ilustración 40) referente al decaimiento de cloro libre como se explica en la Ilustración 23:

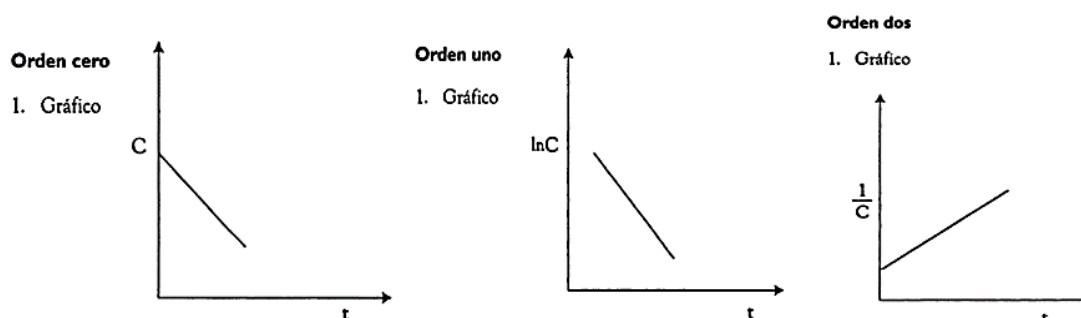


Ilustración 23 Método gráfico para determinación del orden de reacción (Fuente: Liduette Gonzales & Lorena Barrantes, 2004)

Para determinar el orden de reacción se grafica la concentración (C) y el tiempo (t) para orden cero, logaritmo neperiano de la concentración ($\ln C$) y tiempo (t) para orden uno y la unidad sobre la concentración ($1/C$) con el tiempo (t) para orden dos; con los resultados del monitoreo, se realizó las gráficas con los datos de cloro y tiempo para cada muestra con la finalidad de determinar el orden de reacción correspondiente a un orden cero, uno o dos según las gráficas de la Ilustración 23 (Gonzales & Barrantes, 2004). En las distintas gráficas se calculó el coeficiente de determinación R^2 para observar la gráfica que se ajusta de manera correcta a los datos, definida la gráfica se tomó el coeficiente de desintegración de masa el cual se designa con signo negativo hace referencia a la reducción de los residuos de cloro en el tiempo (Mostafa et al. 2013).

Este procedimiento se realiza para cada una de las muestras, para posteriormente realizar un promedio general del coeficiente de desintegración de masa (k_b), de cada uno de los meses de muestreo correspondientes.

3.3.3 Determinación del coeficiente de reacción con la pared de la tubería (K_w)

Las paredes de las tuberías producen el decaimiento de cloro en las redes de agua potable, ya que el cloro y otras sustancias contenidas en el agua reaccionan con los materiales de la pared de las tuberías.

La medición del coeficiente de decaimiento de la pared en los laboratorios es difícil debido a que depende de varios factores temperatura del agua y de las condiciones

reales de la pared de la tubería, tales como: diámetro, edad, rugosidad, material de recubrimiento interno y formación de biofilm. (Tzatchkov & Alcocer-Yamanaka, 2004)

Para la determinación del coeficiente de reacción de las tuberías (K_w) se basó en estudios en los cuales se manifiesta que este coeficiente se mide en términos de la tasa de reacción, depende de la cantidad de superficie en la cual se produce la reacción y la tasa de transferencia de masa entre el fluido y la pared de la tubería.

Para superar esta dificultad, se asumió que el coeficiente de pared era el mismo para todos los tubos de red, ya que la red modelada se compone principalmente de tuberías de PVC. En el manual del programa EPANET 2.0 indica que el valor de K_w para reacciones de primer orden puede ser de 0 a 1.5 m/día (Rossman, 2000). Además, basándose en el estudio de Modelización de la desintegración del cloro en sistemas de suministro de agua potable utilizando EPANET MSX en el cual se determinó el $K_w = 0.040$ m/día para reacciones de primer orden se utiliza este valor para la modelación (Monteiro et al., 2014).

3.3.4 Modelación de cloro libre en EPANET

Para la elaboración del modelo de calidad en la red de abastecimiento se requiere del modelo hidráulico calibrado, y mediante el diagrama de flujo de la Ilustración 24 en el cual se presenta el proceso de confección y calibración del modelo de calidad cuyo objetivo principal es la determinación de la concentración de cloro a lo largo de la red.

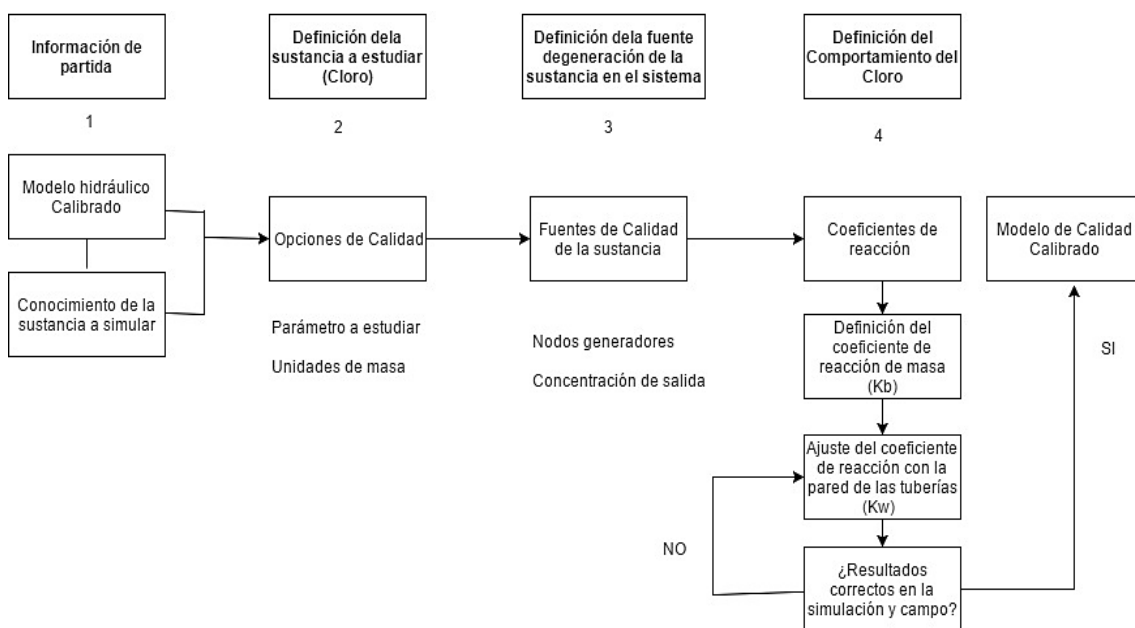
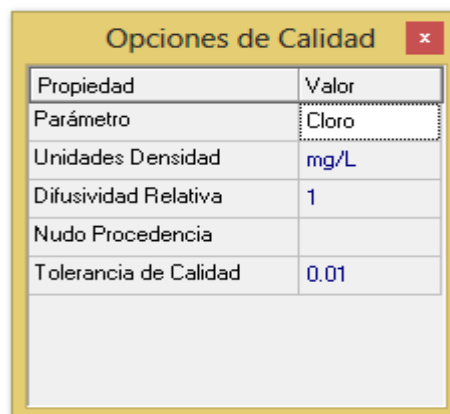


Ilustración 24 Proceso para la confección y calibración del modelo de calidad de la Zona Alta. (Modificado de: Baños David, 2016)

3.3.4.1 Parámetros de calidad y reacción en EPANET

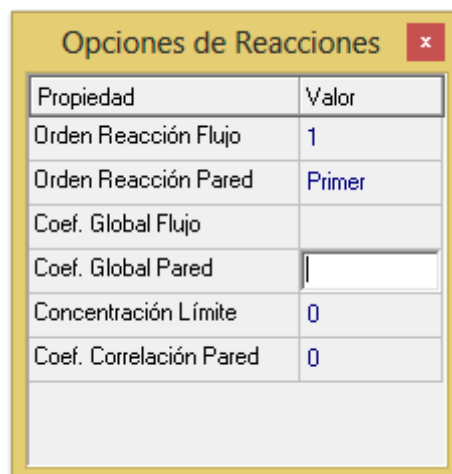
En la Ilustración 25 se observa las opciones de calidad del agua a simular en la red, se define el parámetro a estudiar y se establece las unidades de masa para expresar la concentración mg/l ó µg/l. El valor de la difusividad relativa se considera como la unidad porque este valor se establece en función de la difusividad relativa del mismo elemento, del cloro (Baños Caballero, 2016).



Propiedad	Valor
Parámetro	Cloro
Unidades Densidad	mg/L
Difusividad Relativa	1
Nudo Procedencia	
Tolerancia de Calidad	0.01

Ilustración 25 Opciones de calidad de agua en EPANET (Fuente: Baños Caballero, 2016)

El siguiente paso es definir las opciones de reacción que se producen en el análisis de la calidad del agua (Datos>>Opciones reacciones); la ventana que se despliega se puede observar en la Ilustración 26.



Propiedad	Valor
Orden Reacción Flujo	1
Orden Reacción Pared	Primer
Coef. Global Flujo	
Coef. Global Pared	
Concentración Límite	0
Coef. Correlación Pared	0

Ilustración 26 Opciones de reacción del agua en Epanet (Fuente: Baños Caballero, 2016)

El orden de la reacción flujo es la potencia a la cual se eleva la concentración cuando calculamos la velocidad de reacción en el seno del flujo. Se utiliza 1 para una reacción de primer orden y 2 para una reacción de segundo orden.

El orden de la reacción en la pared es la potencia a la cual se eleva la concentración cuando calculamos la velocidad de reacción en la pared de la tubería. Las posibilidades son:

- Primer: para reacciones de primer orden.
- Cero: para velocidades de reacción constante.

Coeficiente global de flujo es el coeficiente predeterminado de la velocidad de reacción de masa (K_b) asignado a todas las tuberías. Para indicar el decrecimiento se usa un número negativo. Las unidades de K_b para reacciones de primer orden se estable en el programa de uno sobre días (d^{-1}).

Coeficiente global en la pared es el coeficiente de velocidad de reacción en la pared (K_w) asignado a las tuberías. Para indicar el decrecimiento se usa un número negativo. Las unidades son $m/día$ (S.I.) para reacciones de primer orden ó $masa/(m/día)^{1/2}$ para reacciones de orden cero.

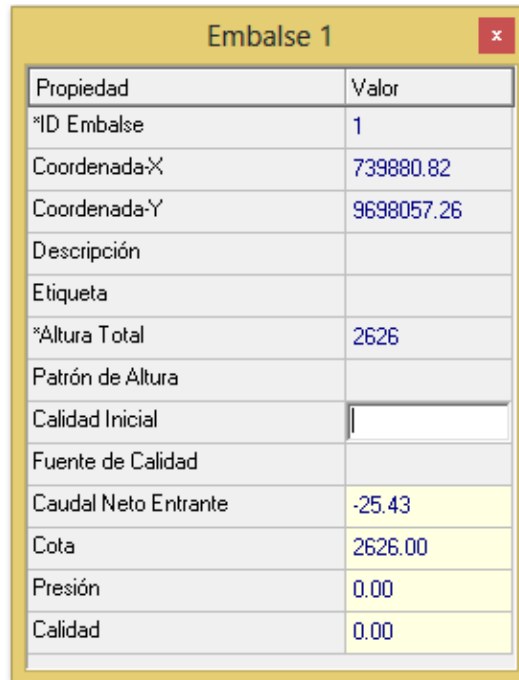
Concentración límite es la máxima concentración a la que una sustancia puede crecer o mínimo valor al que puede descender. Se da el valor 0 si no se utiliza (Baños Caballero, 2016).

Factor de correlación es el valor que correlaciona el coeficiente de reacción en la pared con la rugosidad de la tubería. Se da el valor 0 si no se utiliza (Baños Caballero, 2016).

3.3.4.2 Tipos de Fuentes de calidad en EPANET

Los elementos existentes dentro de una red de distribución de agua potable que afectan directamente a la calidad del agua, son los elementos que la convierten en una fuente generadora de la sustancia que se pretende estudiar mediante la simulación. EPANET permite asignar una concentración inicial, a todos y cada uno de los nodos que forman parte del modelo; la fuente generadora de la calidad en la red es el Tanque de la Zona Alta.

En la Ilustración 27 se observa dos campos importantes que se deben completar, el primero es el valor de la calidad inicial, que es interpuesto con el valor numérico equivalente a la concentración inicial que tendrá la sustancia estudiada en ese nodo; el segundo el editor de fuente de calidad, que consiste en un cuadro de diálogo que se utiliza para describir y definir la calidad de las fuentes de caudal en un nodo específico.



Propiedad	Valor
*ID Embalse	1
Coordenada-X	739880.82
Coordenada-Y	9698057.26
Descripción	
Etiqueta	
*Altura Total	2626
Patrón de Altura	
Calidad Inicial	
Fuente de Calidad	
Caudal Neto Entrante	-25.43
Cota	2626.00
Presión	0.00
Calidad	0.00

Ilustración 27 Propiedades del Tanque del modelo (Fuente: Autores 2017)

La fuente de calidad a su vez contiene una ventana en la que indica el incremento o concentración base de la fuente, además del patrón de calidad hace referencia al patrón de tiempos utilizado para que la calidad de la fuente varíe con el tiempo esto se puede visualizar en la Ilustración 28.

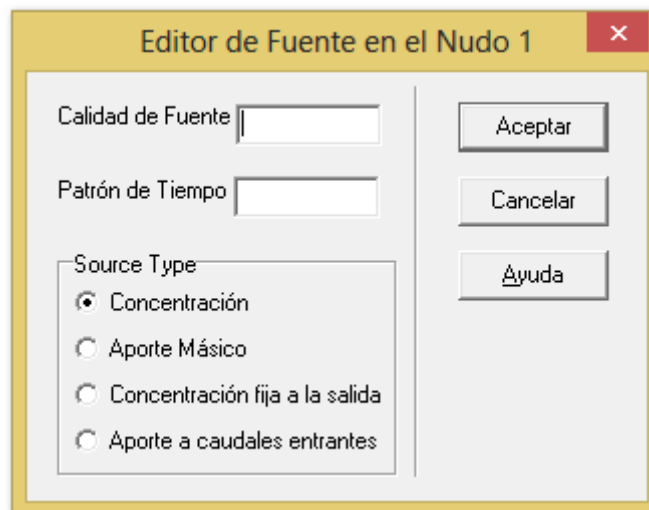


Ilustración 28 Propiedades de los nodos del modelo (Fuente: Baños Caballero, 2017)

Los tipos de fuente de calidad que el programa permite utilizar son:

- Concentración: Fija la concentración de cualquier caudal entrante a la red, como caudal de un depósito.
- Aporte Másico: Incorpora una masa fija de caudal entrante al nudo desde otro punto de la red.

- Concentración fija de salida: Fija la concentración de cualquier caudal que abandona el nudo.
- Aporte de Caudales entrantes: Incorpora una concentración fija resultante de la mezcla de todos los caudales entrantes al nudo desde cualquier punto de la red.

Las fuentes antes mencionadas se utilizan para nodos que representan fuentes de abastecimiento de agua o plantas de tratamiento.

Una vez definidas las fuentes de calidad, el coeficiente global de flujo y global de la pared en la red de distribución se procede a la simulación. El ajuste del valor de estos dos coeficientes serán los que provoquen las variaciones en las concentraciones de cloro en los diferentes puntos de la red por lo que, serán los parámetros a modificar para hacer que los resultados obtenidos en el modelo concuerden con los valores de las concentraciones obtenidas en la red de EMAPAL EP.

3.3.5 Calibración del modelo de calidad

Para la calibración del modelo de calidad de agua (específicamente cloro residual) consiste en ajustar parámetros físico-químicos, con el objetivo de obtener coincidencia entre los valores simulados en el modelo con los medidos en los sistemas de distribución. La simulación y calibración del modelo de calidad del agua depende directamente de dos factores que se deben considerar:

- Modelo hidráulico calibrado
- Obtención en campo de los coeficientes de reacción con el volumen de agua (K_b) y con la pared de la tubería (K_w).

Lo anterior se traduce en que la confiabilidad en los resultados obtenidos en la predicción de un parámetro físico-químico dependerá directamente de dos fenómenos: advección y reacción.

La advección está relacionada directamente con la velocidad y ésta a su vez es obtenida a partir de los resultados de la simulación hidráulica.

La reacción se expresa por los valores de coeficientes de reacción con el volumen de agua (K_b), el cual se calcula con mediciones en campo y reacción con la pared de la tubería (K_w); en el caso de estudio se determinó mediante revisión bibliográfica. (Alcocer-Yamanaka, 2007; Castro & Neves, 2003).

Para lograr el objetivo de similitud entre el modelo y las condiciones reales de la red de distribución estudiada, se modificó la reacción con las paredes de las tuberías (K_w)

ya que es el valor tomado de literatura; mientras que el coeficiente global de flujo o masa permaneció constante por ser un valor calculado con datos de campo (Castro & Neves, 2003).

3.3.6 Validación del modelo de calidad

Para verificar los resultados del modelo de calidad y poder validarlo se establecieron 15 puntos de monitoreo en base a las concentraciones de cloro simuladas. Es necesario tomar las muestras en los puntos de la red establecidos, medir sus concentraciones de cloro y finalmente comparar los resultados medidos y simulados.

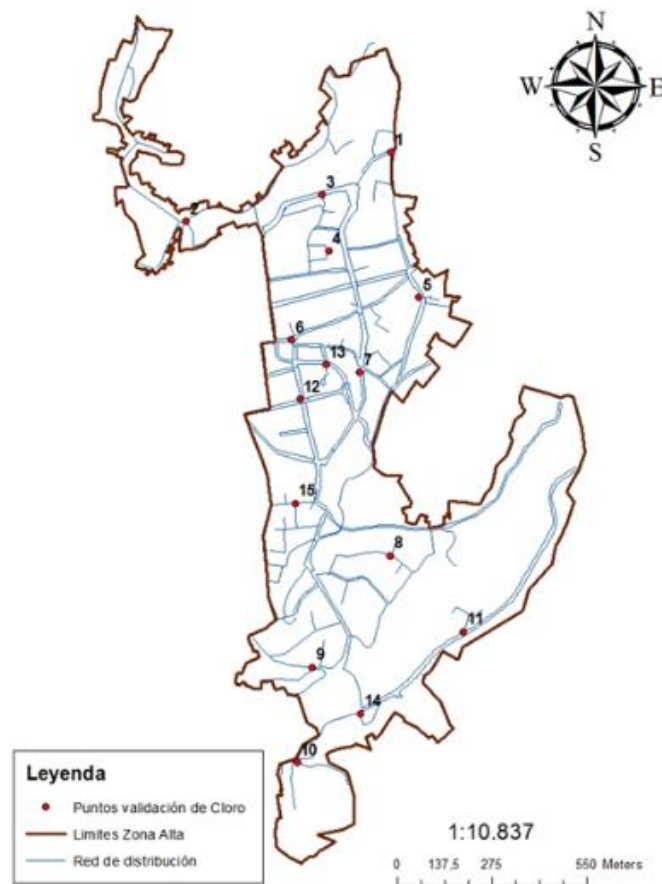


Ilustración 29 Puntos de muestreo de mediciones de cloro residual para la validación del modelo de calidad

CAPÍTULO 4

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 MODELO HIDRÁULICO

4.1.1 Resultados de la demanda

4.1.1.1 Demanda máxima promedio

Para calcular la demanda máxima promedio en cada uno de los nodos se utilizó las Ec. 10 y 11. En la Tabla 7 se observan la identificación de los nodos (ID del nodo), el número de predios asignados al nodo (P), el número de habitantes en cada predio (H), el consumo total estimado por persona día (Qdh), demanda de bajo consumo en el nodo "n" (Db_n), la demanda de alto consumo del nodo "n" (Da_n) y la demanda total en el nodo "n" (DT_n). El anexo 6 presenta todos los datos de las demandas calculadas en la Zona Alta correspondiente a los diferentes nodos de la red.

ID del nodo	Predios de bajo consumo				Predios de alto consumo				DT _n (l/s)
	P (predio)	H (Hab/predio)	Qdh (l/Hab*día)	Db _n (l/s)	P (predio)	H (Hab/predio)	Qdh (l/Hab*día)	Da _n (l/s)	
A10	4	4	324	0.06					0.06
A11	1	4	324	0.015					0.015
A12	1	4	324	0.015					0.015
A14	4	4	324	0.06					0.06
A16	1	4	324	0.015					0.015
A17	5	4	324	0.075					0.075
A19	3	4	324	0.045					0.045
A21	2	4	324	0.03					0.03
A23	4	4	324	0.06					0.06
A28	3	4	324	0.045					0.045
A37					1	1200	80	1.11	1.11
A45	2	4	324	0.03					0.03
A48	1	4	324	0.015					0.015
N277	15	4	324	0.225	1	1500	80	1.389	1.614
J-178					1	2500	30	0.868	0.868

Tabla 7 Resultado del cálculo de las demandas totales en 15 nodos de la red (Fuente: Autores 2017)

En los sitios en los que se presentó la mayor demanda de agua, fue en las instituciones educativas (colegios) y en el mercado de la zona, siendo el valor de 1.6

l/s correspondiente al nodo N277 asignado para el Colegio Luis Cordero el de mayor consumo, debido a que es la institución con el mayor número de estudiantes (1500 estudiantes) de la Zona Alta.

4.1.1.2 Variación horaria de la demanda en 24 horas

En la Tabla 8 se presenta las mediciones de caudales a la salida del tanque de almacenamiento correspondientes a las 24 horas, los mismos que fueron calculados con la Ec. 12.

Tabla 8 Mediciones de caudal a la salida del tanque de la Zona Alta (Fuente: Autores 2017)

Demanda tanque Zona Alta	
Hora (H)	Caudal (l/s)
0:00	13.06
1:00	12.37
2:00	10.75
3:00	11.95
4:00	12.24
5:00	16.05
6:00	24.67
7:00	23.38
8:00	25.03
9:00	26.28
10:00	25.40
11:00	24.89
12:00	23.51
13:00	24.27
14:00	22.25
15:00	22.50
16:00	20.86
17:00	22.93
18:00	22.62
19:00	20.96
20:00	19.75
21:00	16.49
22:00	15.27
23:00	13.35

En la Ilustración 30a se observa la gráfica de la curva de variación horaria del consumo, la cual se realizó con los datos obtenidos a la salida del tanque de la Zona Alta, y en la Ilustración 30b se presenta la tendencia de los coeficientes calculados en base al consumo máximo en las diferentes horas utilizando la Ec. 13.

Los datos que se presentan de las mediciones del tanque de abastecimiento permitieron identificar los periodos en donde se produce el consumo mínimo (10.75 l/s), medio (20.86 l/s) y máximo (26.28 l/s). La tendencia que muestra la curva de

variación horaria del consumo de la Zona Alta se define de manera clara, que a partir de las 04H00 (12.24 l/s) hasta las 06H00 (24.67 l/s) se produce un incremento en la demanda de la red y a partir de las 20H00 (19.75 l/s) hasta las 02H00 (10.75 l/s) existe un descenso de la demanda.

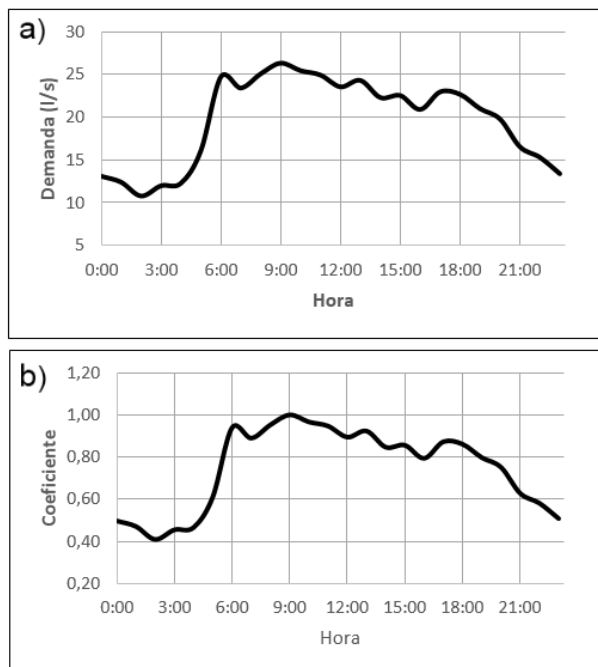


Ilustración 30 Tendencia de la demanda en 24 horas. a) Curva de variación del consumo (l/s), b) Curva de la variación del consumo en coeficientes (Fuente: Autores 2017)

4.1.2 Resultados de la simulación de la red de la Zona Alta en el programa EPANET

Los componentes de la red de distribución y sus respectivas etiquetas digitadas en el Programa EPANET se muestran en la Ilustración 31

4.1.2.1 Editor de patrones EPANET

La digitación de los coeficientes de variación de caudal en el editor de patrones de las demandas en el programa EPANET se presenta en la Ilustración 32. El proceso de digitación se realizó con el propósito de generar un modelo hidráulico en periodo extendido, representando los valores de los coeficientes de la demanda total en función de las 24 horas; se determinó que el coeficiente máximo con un valor de uno coincide con el valor de máximo consumo correspondiente a las 09H00.

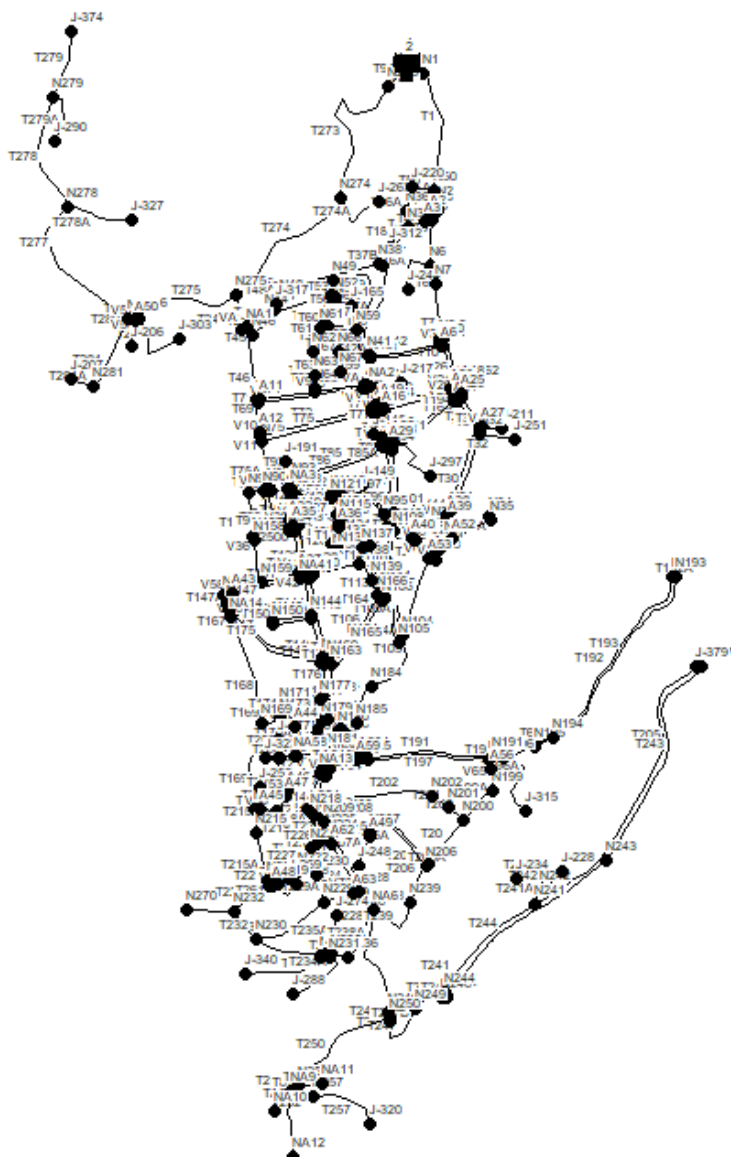


Ilustración 31 Esquema de la Red de distribución de la Zona Alta en EPANET (Fuente: Autores 2017)

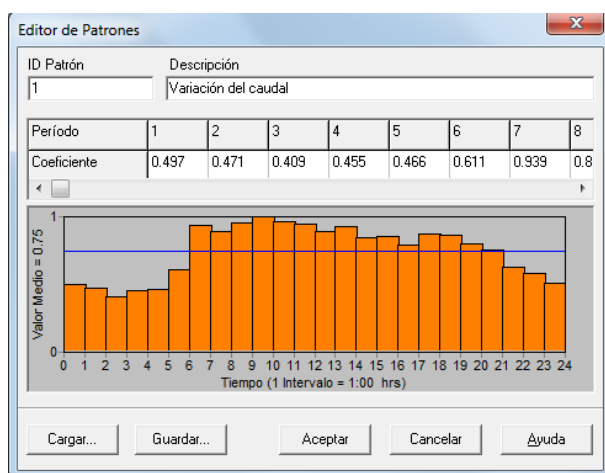


Ilustración 32 Coeficientes de la demanda total ingresados en el programa EPANET (Fuente: Autores 2017)

4.1.2.1 Primera simulación del modelo hidráulico en EPANET

En la Ilustración 33 se muestra los resultados de los caudales modelados de red de la Zona Alta para la hora de máximo consumo correspondiente a las 09H00. Los caudales del modelo hidráulico base presenta valores que van de 0.01 l/s a 24.25 l/s.

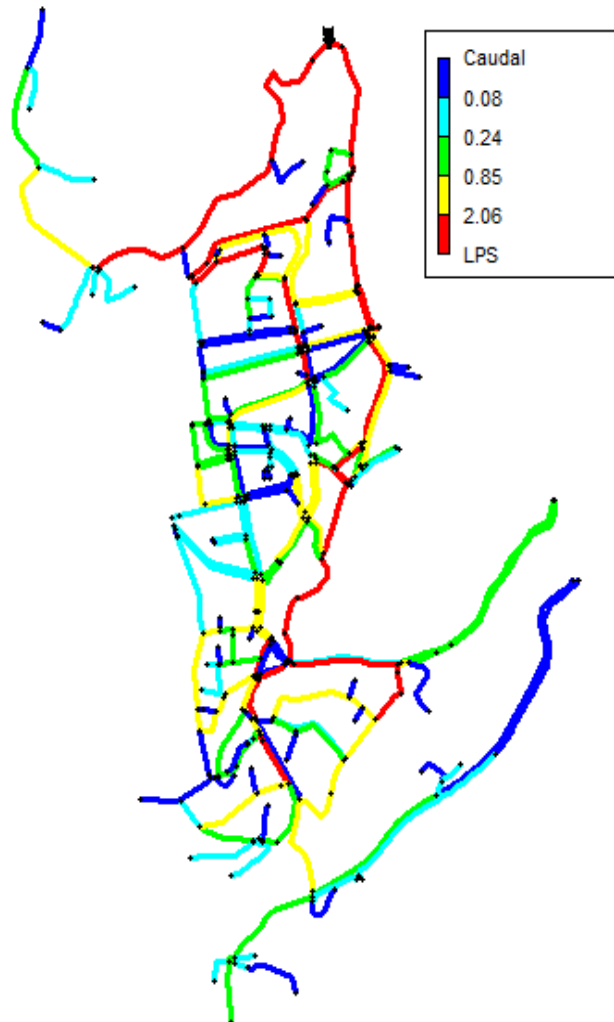


Ilustración 33 Caudales en las tuberías (l/s) a las 9:00 am (Fuente: Autores 2017)

En la Ilustración 34 se muestra los resultados de las presiones de la red de la Zona Alta para la hora de máximo consumo, cuyos valores se encuentran entre 3.64 m.c.a. y 93.69 m.c.a.

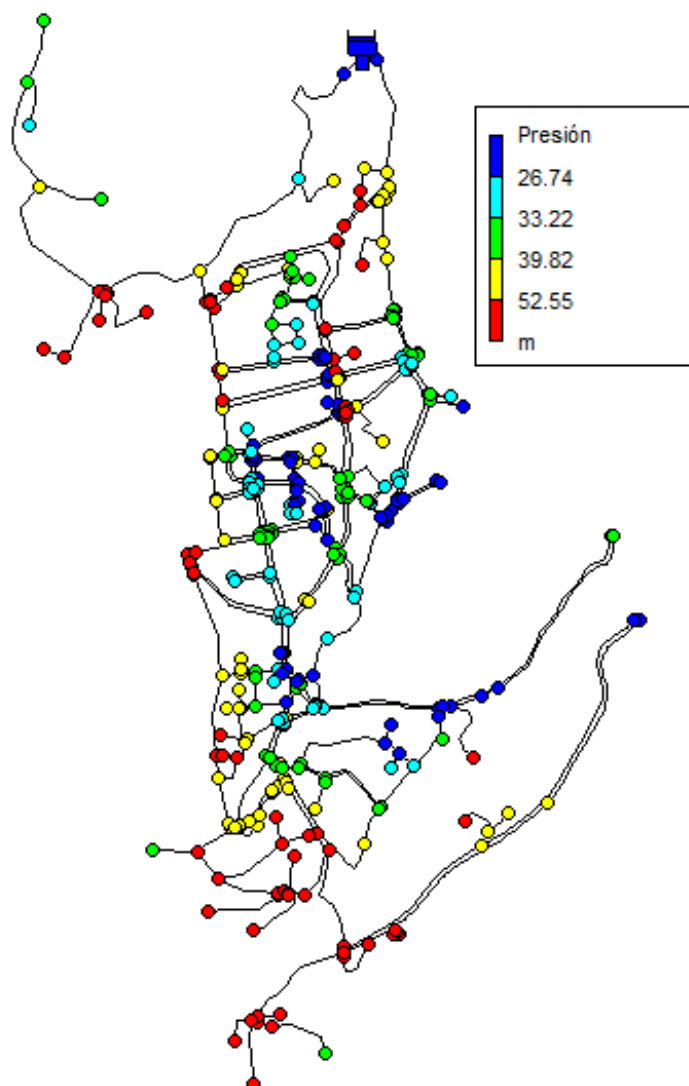


Ilustración 34 Presiones en los nodos (m.c.a.) a las 9:00 am (Fuente: Autores 2017)

4.1.2.2 Resultados de la calibración del modelo hidráulico

En la Tabla 9 se observa los resultados de la primera etapa de calibración del máximo caudal consumido a las 09H00 en el tanque de abastecimiento, la demanda total simulada en el modelo base y en el modelo ajustado las demandas globales de todo el sistema a la misma hora.

Tabla 9 Caudales totales a la salida del tanque de abastecimiento (l/s) (Fuente: Autores 2017)

Descripción	Caudal total (l/s)
Medición en el tanque de abastecimiento	26.28
Resultado del modelo base	27.91
Resultado de la primera etapa de calibración del modelo	27.64

El caudal de 27,64 (l/s) fue el valor que se tomó para las siguientes etapas de calibración, ya que el mismo se ajustó al valor medido en el tanque de abastecimiento.

a) Lectura de presiones para la calibración del modelo

En la Tabla 10 se muestra los datos de las presiones medidas para la calibración de modelo hidráulico y la asignación a los nodos correspondientes en la red de distribución de EPANET con su respectiva hora de muestreo, las mediciones de presión se realizaron con un manómetro y se transforme las unidades a m.c.a.

Tabla 10 Medición de presiones para la calibración del modelo hidráulico (Fuente: Autores 2017)

Número de muestra	Punto de muestreo	Nodo	Hora de medición	Presión (m.c.a.)
1	Vivienda Calle Ingapirca	N278	9:00	38.02
2	Vivienda Miguel Heredia y Oriente	N105	10:00	31.69
3	Vivienda Calle Miguel Heredia y Carlos Aguilar Vásquez	N103	10:00	23.24
4	Vivienda Carlos Aguilar V. y Coronel Francisco Carrasco	N99	10:00	41.55
5	Vivienda Guayas y Antonio José de Sucre	N129	10:00	38.73
6	Vivienda Aurelio Jaramillo y José Joaquín de Olmedo	N216	10:00	63.38
7	Vivienda Vía Luis Cordero	N192	10:00	50.7
8	Vivienda Calle Atahualpa y Piscar Cápac	J-178	10:00	40.14
9	Vivienda Eugeni Espejo y Av. Rumiñahui	N217	11:00	49.3
10	Vivienda Jaime Vélez	N202	11:00	31.69
11	Vivienda Luis Roberto B.	N51	11:00	42.25
12	Vivienda Avenida de los Cañarís y Bartolomé Serrano	A17	13:00	35.21
13	Vivienda Calle Miguel Heredia	N35	13:00	21.13
14	Vivienda Vía Luis Cordero	N118	13:00	35.21
15	Vivienda 4 de noviembre y Av. La Virgen	N146	14:00	42.25
16	Mecánica Vía Oriente entre Ignacio de Vintimilla y Azuay	N230	14:00	77.46
17	Vivienda Calle del Estadio y Galo Plaza Lazo	N252	14:00	73.94
18	Vivienda Vía Oriente y Azuay	N72	9:00	49.3
19	Vivienda Bartolomé Serrano y Coronel Francisco Carrasco	N79	9:00	56.34
20	Vivienda Los Olivos y Luis Bravo Gonzales	N67	9:00	28.16

b) Resultados de la simulación**• Modelo base**

En la Tabla 11 se indica el valor de las presiones medidas y calculadas con la simulación del modelo base, así como el cálculo de los errores en cada uno de los nodos. Al final de la tabla se observa el coeficiente de correlación entre los datos. Los errores presentados en el informe del modelo base presentan valores altos de 13,33 m.c.a, 10,69 m.c.a y 10,33 m.c.a entre otros, a pesar de tener una correlación de Pearson alta de 0.938. Estos datos sirvieron para la calibración del modelo en las siguientes etapas.

Tabla 11 Informe de calibración de presión del modelo base (Fuente: Autores 2017)

Localización	Valor observado (m.c.a.)	Valor calculado (m.c.a.)	Error	Error medio cuadrático
N278	38.02	46.52	8.499	8.499
N105	31.69	29.01	2.678	2.678
N103	23.24	23.92	0.68	0.68
N99	41.55	38.71	2.844	2.844
N129	38.73	28.03	10.695	10.695
N216	63.38	56	7.378	7.378
N192	50.7	39.82	10.88	10.88
J-178	40.14	26.81	13.33	13.33
N217	49.3	40.97	8.329	8.329
N202	31.69	27.64	4.05	4.05
N51	42.25	37.6	4.65	4.65
A17	35.21	36.9	1.694	1.694
N35	21.13	20.79	0.342	0.342
N118	35.21	27.83	7.384	7.384
N146	42.25	37.15	5.097	5.097
N230	77.46	75.15	2.311	2.311
N252	73.94	82.63	8.688	8.688
N72	49.3	45.57	3.733	3.733
N79	56.34	53.44	2.905	2.905
N67	28.16	27.58	0.58	0.58
Sistema de Red	43.48	40.1	5.337	6.509
Correlación entre términos			0.938	

En la Ilustración 35 se presenta una gráfica de barras de comparación entre las presiones observadas y calculadas en la simulación del modelo base, presentando diferencias en la mayoría de los datos entre valores observados y calculados, para reducir la desigualdad es importante realizar la calibración del modelo.

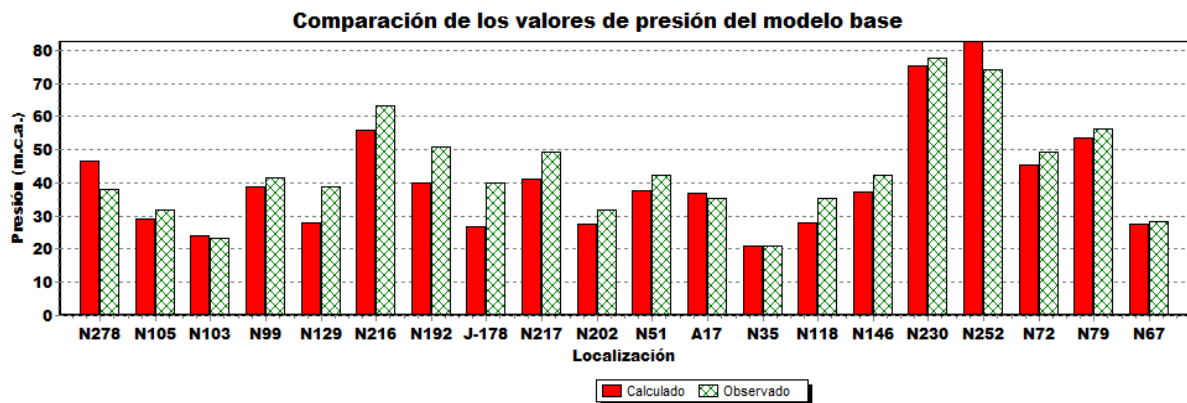


Ilustración 35 Comparación de las presiones calculadas y observadas en el modelo base (Fuente: Autores 2017)

- **Modelo calibrado**

En la Tabla 12 se indica el valor de las presiones medidas y calculadas con la simulación del modelo calibrado, así como el cálculo de los errores en cada uno de los nodos. Los errores obtenidos en el informe del modelo de calibración presentan valores bajos con relación al informe de simulación del modelo base descrita anteriormente en la

Tabla 11, se determinó una correlación de Pearson de 0.993 lo que indica una correcta calibración del modelo hidráulico.

Tabla 12 Informe de calibración de presión del modelo calibrado (Fuente: Autores 2017)

Localización	Valor observado (m.c.a.)	Valor calculado (m.c.a.)	Error absoluto	Error medio cuadrático
N278	38.02	40.6	2.576	2.576
N105	31.69	29.76	1.931	1.931
N103	23.24	23.84	0.601	0.601
N99	41.55	38.51	3.044	3.044
N129	38.73	36.9	1.827	1.827
N216	63.38	63.05	0.335	0.335
N192	50.7	47.97	2.727	2.727
J-178	40.14	38.26	1.882	1.882
N217	49.3	48.07	1.227	1.227
N202	31.69	31.79	0.1	0.1
N51	42.25	39.42	2.831	2.831
A17	35.21	36.01	0.804	0.804
N35	21.13	20.46	0.67	0.67
N118	35.21	36.81	1.596	1.596
N146	42.25	44.82	2.574	2.574
N230	77.46	78.42	0.958	0.958

N252	73.94	73.38	0.561	0.561
N72	49.3	50.41	1.107	1.107
N79	56.34	54.05	2.291	2.291
N67	28.16	27.27	0.892	0.892
Sistema de Red	43.48	42.99	1.527	1.771
Correlación entre los Términos			0.993	

En la Ilustración 36 se presenta una gráfica de barras de comparación entre las presiones calculadas y observadas en la simulación del modelo calibrado. Las diferencias entre los datos de presiones presentan variaciones de 0.1 a 3 m.c.a, lo cual indica una correcta similitud entre los valores del modelo y las mediciones en la red.

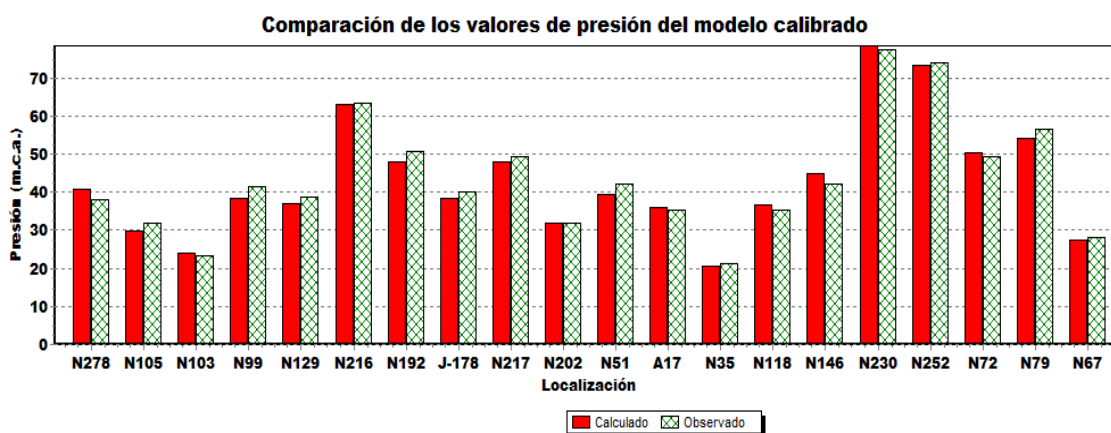


Ilustración 36 Comparación de las presiones calculadas y observadas en el modelo calibrado (Fuente: Autores 2017)

4.1.2.3 Resultados de la validación del modelo hidráulico

a) Lectura de presiones para la validación del modelo

En la Tabla 13 se muestra los datos de las presiones medidas para la validación del modelo hidráulico y la asignación a los nodos correspondientes en la red de distribución de EPANET con sus respectivas horas de muestreo.

Tabla 13 Medición de presiones para la validación del modelo hidráulico (Fuente: Autores 2017)

Número de muestra	Punto de muestreo	Nodo	Hora de medición	Presión (m.c.a.)
1	Vivienda Calle José María Urbina y Cnel. Francisco Carrasco	N37	9:00	50.7
2	Vivienda Calle Rafael M. García e Ingapirca	N276	9:00	61.97



3	Vivienda Calle los Eucaliptos	N51	9:00	35.21
4	Vivienda Los Olivos y Luis Bravo Gonzales	N66	9:00	28.87
5	Vivienda Vía Oriente y Azuay	N72	10:00	53.52
6	Vivienda Carlos Aguilar V. y Coronel Francisco Carrasco	N12	10:00	35.21
7	Vivienda Bartolomé Serrano y Coronel Francisco Carrasco	N80	10:00	57.04
8	Vivienda Calle Bartolomé Serrano y 4 de Noviembre	N118	10:00	35.21
9	Vivienda Calle Segundo Méndez y Demetrio Aguilar Malta	N230	10:00	66.9
10	Vivienda Calle del Estadio y Galo Plaza Lazo	N251	11:00	59.85
11	Vivienda Av. Gonzales Suarez	N242	11:00	50.28
12	Vivienda Calle Atahualpa y Piscar Cápac	N170	11:00	45.77
13	Vivienda Calle Eugenio Espejo	N205	11:00	42.95
14	Vivienda Calle Jaime Vélez Z.	N202	11:00	30.98
15	Vivienda Calle San Francisco	A55	11:00	33.09
1	Vivienda Calle José María Urbina y Cnel. Francisco Carrasco	N37	14:00	61.26
2	Vivienda Calle Rafael M. García e Ingapirca	N276	14:00	66.9
3	Vivienda Calle los Eucaliptos	N51	14:00	46.47
4	Vivienda Los Olivos y Luis Bravo Gonzales	N66	14:00	42.21
5	Vivienda Vía Oriente y Azuay	N72	14:00	63.38
6	Vivienda Carlos Aguilar V. y Coronel Francisco Carrasco	N12	14:00	36.61
7	Vivienda Bartolomé Serrano y Coronel Francisco Carrasco	N80	14:00	59.85
8	Vivienda Calle San Francisco	A55	14:00	34.5
9	Vivienda Calle Bartolomé Serrano y 4 de Noviembre	N118	14:00	41.54
10	Vivienda Calle Segundo Méndez y Demetrio Aguilar Malta	N230	15:00	78.16
11	Vivienda Calle del Estadio y Galo Plaza Lazo	N251	15:00	77.46
12	Vivienda Av. Gonzales Suarez	N242	15:00	54.92
13	Vivienda Calle Atahualpa y Piscar Cápac	N170	15:00	54.22
14	Vivienda Calle Eugenio Espejo	N205	15:00	51.4
15	Vivienda Calle Jaime Vélez Z.	N202	15:00	39.43

b) Resultados de la simulación

En la Tabla 14 se indica el valor de las presiones medidas para la validación del modelo y las calculadas con la simulación del modelo calibrado, así como el cálculo de los errores en cada uno de los nodos. Los errores obtenidos en el informe del modelo calibrado para la validación presentan valores bajos, se determinó una correlación de Pearson de 0.996 lo que ratifico que el modelo hidráulico se calibró, presentando una correcta similitud con la realidad de la red de distribución.

Tabla 14 Informe de verificación de presión del modelo calibrado (Fuente: Autores 2017)

Localización	Número de observaciones	Valor observado (m.c.a.)	Valor calculado (m.c.a.)	Error	Error medio cuadrático
N37	2	55.98	57.49	2.725	3.115
N276	2	64.43	63.72	2.071	2.191
N51	2	40.84	41.05	0.21	0.235
N66	2	35.54	36.3	1.126	1.356
N72	2	58.45	57.21	1.241	1.407
N12	2	35.91	36.05	0.283	0.315
N80	2	58.44	55.7	2.748	2.767
N118	2	38.38	37.9	1.194	1.283
N230	2	72.53	73.56	1.462	1.791
N251	2	68.65	68.72	3.697	3.698
N242	2	52.6	52.1	2.557	2.606
N170	2	50	50.85	1.092	1.386
N205	2	47.18	47.42	0.719	0.759
N202	2	35.21	35.17	0.825	0.826
A55	2	33.79	35.32	1.521	2.08
Sistema de Red	30	49.86	49.9	1.568	1.982
Correlación entre los Términos				0.996	

En la Ilustración 37 se presenta una gráfica de barras de comparación entre las presiones observadas para la validación del modelo y calculadas en la simulación del modelo calibrado. Las diferencias entre los datos de presiones presentan variaciones de 0.05 a 4 m.c.a, lo cual indica que existe analogía entre los valores del modelo y las mediciones en la red.

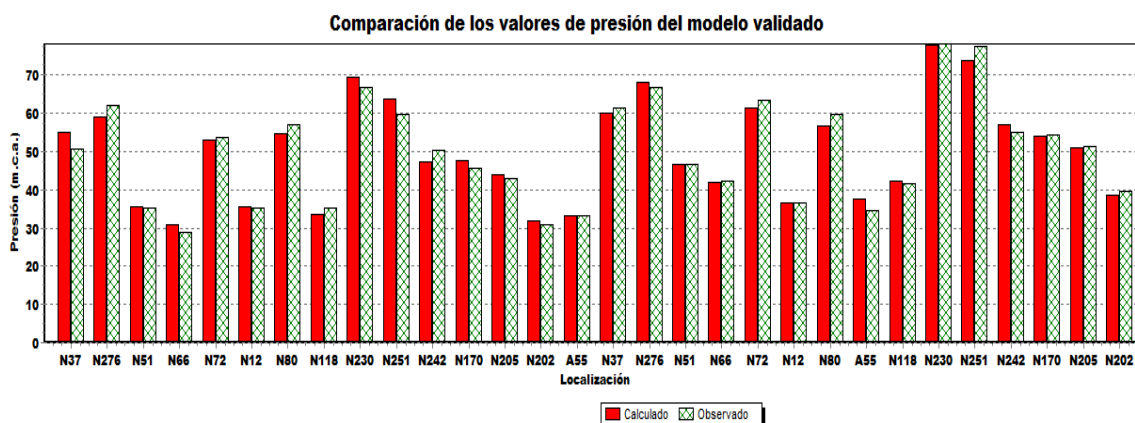


Ilustración 37 Comparación de las presiones calculadas y observadas en el modelo validación (Fuente: Autores 2017)

En la Ilustración 38 se observa los resultados finales de las presiones del modelo hidráulico en los periodos de mínimo, medio y máximo consumo correspondientes a las horas 02H00, 16H00 y 09H00. Para el mapa de contornos de presiones de las 02H00 debido donde existe una demanda baja se presentan valores de presiones altas, a medida que transcurre el tiempo y se llega a las 09H00 donde se produce la demanda máxima la presión disminuye de manera notable, posteriormente cuando se llega a la demanda media correspondiente a las 16H00 la presión asciende ligeramente.

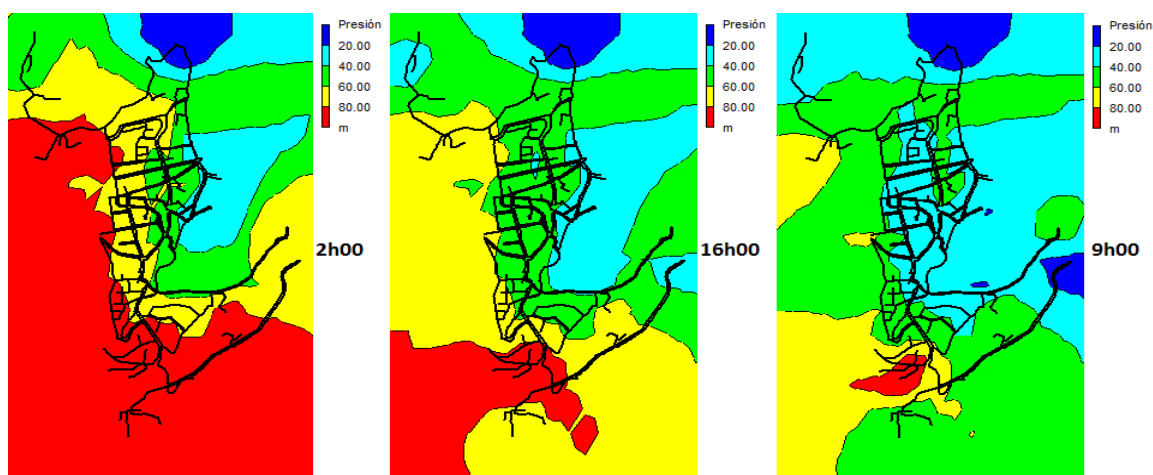


Ilustración 38 Mapas de presiones (m.c.a.) del modelo hidráulico validado para diferentes periodos de consumo (Fuente: Autores 2017)

El comportamiento de la presión detallado en el párrafo anterior se puede apreciar en el nodo J-288 donde se presenta la mayor presión de toda la red de la Zona Alta (Ilustración 39).

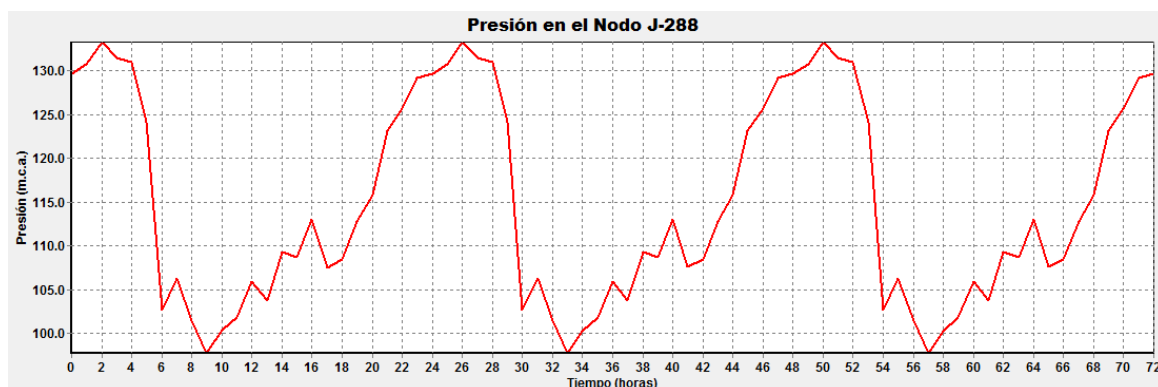


Ilustración 39 Comportamiento de la presión en el nodo J-288 para los diferentes periodos de consumo

4.2 MODELO DE CALIDAD

4.2.1 Resultados del monitoreo de cloro residual

En los 6 meses de monitoreo se obtuvieron mediciones de cloro in-situ, estos datos se presentan en la Tabla 15 para los 30 puntos en toda la red de EMAPAL y en la Tabla 16 para los puntos establecidos en la red de la Zona Alta. Cabe mencionar que en los puntos 2, 4, 20 y 28 del mes de agosto no se pudo tomar las muestras ya que se presentaron daños en las tuberías del tanque de abastecimiento de Zhapacal. Se identificó que en la muestra 18 ubicada en el sector el calvario, las concentraciones de cloro medidas se encuentran cerca del límite o debajo de la normativa (NTE INEN 1108, 2014) establecida de 0.3 mg/l como es el caso de los meses de julio y agosto.

Para el muestreo y las mediciones In-Situ se elaboró fichas de muestreo en las que se llenó con los datos obtenidos de cada medición en los puntos de muestreo, estas fichas se presentan en el Anexo 7.

Tabla 15 Resultados de mediciones de cloro in-situ (mg/l) en la red de distribución de EMAPAL (Fuente: Autores 2017)

Numero de Muestra	Punto de muestreo	Julio	Agosto	Septiembre	Enero	Febrero
		Cloro residual (mg/l)				
1	Vivienda Chiturco	0.83	0.36	0.5	0.48	0.84
2	Vivienda Javier Loyola	1.17	*	0.74	0.72	0.55
3	Vivienda Charasol	1.16	0.5	0.81	0.57	0.75
4	Ciudadela del Chofer	1.1	*	0.7	0.68	0.7
5	Vivienda Cementerio	0.72	0.16	0.55	0.45	0.54
6	Vivienda Sector la Policía	0.92	0.64	0.68	0.43	0.56

7	Vivienda Hermano Miguel	0.96	0.69	0.56	0.7	0.64
8	Vivienda Andrés F Córdova	0.94	0.6	0.76	0.76	0.65
9	Vivienda sector Emilio Abad	1.04	0.44	0.74	0.69	0.66
10	Vivienda 5 Esquinas	0.69	0.49	0.5	0.16	0.64
11	Vivienda Bosque Azul	0.9	0.66	0.6	0.59	0.49
12	Tanque Principal	0.91	0.8	0.32	0.56	0.66
13	Tanque Zona Alta	0.87	0.59	0.31	0.83	0.85
14	Vivienda Sector Santa Bárbara	0.97	0.64	0.53	0.71	0.61
15	Vivienda Avenida Rumiñahui	0.88	0.8	0.66	0.78	0.56
16	Vivienda Av. Gonzalo Suarez	0.73	0.75	0.45	0.37	0.64
17	Vivienda Luis Cordero	0.81	0.65	0.51	0.77	0.63
18	Vivienda sector Calvario	0.2	0.54	0.22	0.38	0.36
19	Tanque Juan Montalvo	0.69	0.85	0.46	0.6	0.48
20	Tanque Zhapacal	1	*	0.5	0.92	0.61
21	Tanque Toctesol	0.39	0.52	0.25	0.29	0.42
22	Tanque Zhigzhiquin	0.72	0.79	0.71	0.77	0.62
23	Vivienda Sector la Autopista	0.87	0.71	0.46	0.79	0.58
24	Reserva Chavay	0.69	0.58	0.2	0.38	0.5
25	Vivienda Sector Bellavista	0.74	0.29	0.57	0.1	0.66
26	Vivienda Sector Tenemaza	0.38	0.21	0.61	0.58	0.54
27	Vivienda Sector Chacapamba	0.05	0.79	0.61	0.29	0.32
28	Vivienda Miguel Heredia	0.45	*	0.26	0.35	0.33
29	Vivienda Primero de Mayo	0.05	1.04	0.44	0.49	0.37
30	Planta Mahuarca	0.51	0.23	0.44	0.54	0.29

Tabla 16 Resultados de mediciones de cloro in-situ (mg/l) en la red de la Zona Alta (Fuente: Autores 2017)

Número de Muestra	Punto de muestreo	Marzo
		Cloro residual (mg/l)
1	Vivienda 4 de Noviembre y Oriente	0.54
2	Vivienda Vía Oriente y Azuay	0.39
3	Vivienda Miguel Heredia y Oriente	0.71
4	Vivienda Calle Miguel Heredia y Carlos Aguilar Vásquez	0.73
5	Vivienda Avenida de los Cañaris y Bartolomé Serrano	0.7
6	Vivienda Carlos Aguilar V. y Coronel Francisco Carrasco	0.72
7	Vivienda Guayas y 4 de Noviembre	0.38
8	Vivienda Calle Atahualpa y Piscar Capac	0.71
9	Vivienda Aurelio Jaramillo y José Joaquín de Olmedo	0.44

10	Vivienda Av. Rumiñahui y Segundo Méndez	0.4
11	Local Comercial Calle José María Urbina	0.45
12	Vivienda Luis Roberto B.	0.39
13	Local Comercial Santa Bárbara	0.66
14	Vivienda Eugeni Espejo y Av. Rumiñahui	0.59
15	Avenida Gonzales Suarez	0.34
16	Vivienda Vía Luis Cordero	0.58
17	Vivienda Calle Ingapirca	0.65
18	Vivienda Los Olivos y Luis Bravo Gonzales	0.24
19	Vivienda Guayas y Antonio José de Sucre	0.62
20	Vivienda Jaime Vélez	0.63

Los datos de las mediciones de decaimiento de cloro residual en el mes de Julio del 2016 para la muestra número uno se presenta en la Tabla 17 Se siguió el mismo procedimiento para todas las muestras en los diferentes meses de monitoreo.

Tabla 17 Decaimiento de cloro residual de la muestra uno (vivienda de Chiturco) correspondiente al mes de Julio (Fuente: Autores 2017)

Número de muestra	Hora	Tiempo	Cloro residual (mg/l)
1	9:00:00	0	0,83
1	11:00:00	2	0,82
1	13:00:00	4	0,82
1	15:00:00	6	0,68
1	17:00:00	8	0,54
1	19:00:00	10	0,46
1	21:00:00	12	0,43
1	23:00:00	14	0,38
1	1:00:00	16	0,34
1	3:00:00	18	0,17
1	6:00:00	21	0,12
1	9:00:00	24	0,17
1	12:00:00	27	0,17
1	15:00:00	30	0,09
1	18:00:00	33	0,06
1	21:00:00	36	0,03
1	0:00:00	39	0,01

4.2.2 Resultados de la determinación del coeficiente de reacción de masa (Kb)

En la Ilustración 40 se observa las gráficas de la concentración (C) y el tiempo (t) para orden cero, logaritmo neperiano de la concentración ($\ln C$) y tiempo (t) para orden uno y la unidad sobre la concentración ($1/C$) con el tiempo (t) para orden dos,

acompañados de sus coeficientes de determinación (R^2). Las gráficas se realizaron con los datos de la muestra uno del mes de Julio del 2016.

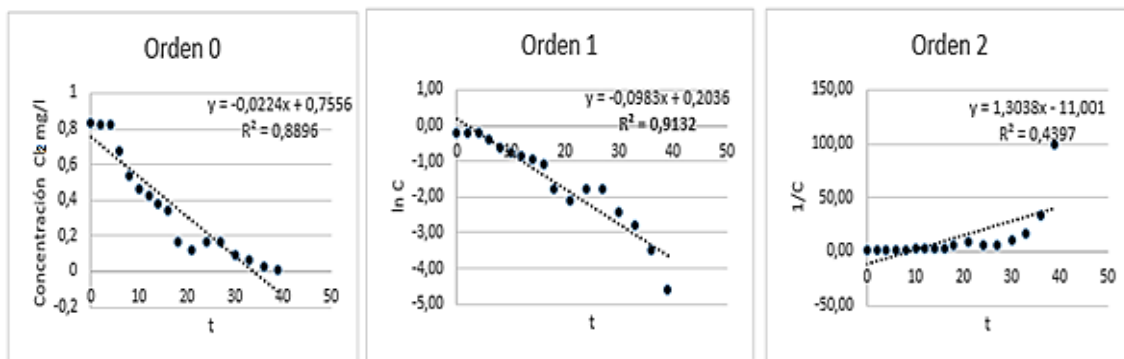


Ilustración 40 Método grafico para la determinación del orden de reacción de decaimiento de cloro para la vivienda de Chiturco (Fuente: Autores 2017)

Para la obtención del coeficiente de determinación de masa (K_b) se procedió a realizar la gráfica con los datos de las concentraciones de cloro medidas (mg/l) en función del tiempo con una línea de tendencia exponencial de la cual se obtiene el coeficiente de desintegración de masa (Ilustración 41).

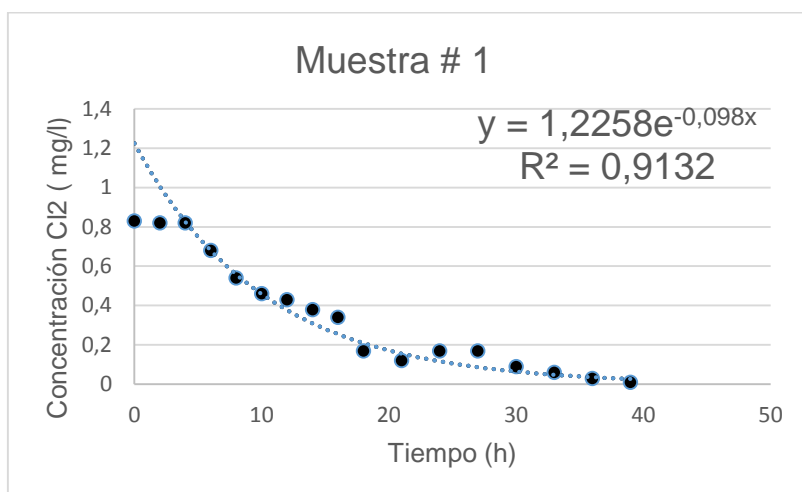


Ilustración 41 Determinación de k_b , Muestra # 1 Vivienda Chiturco, mes de Julio del 2016 (Fuente: Autores, 2017)

Entonces como se observa en la Ilustración 41 se toma el coeficiente de desintegración de masa (k_b) igual a $0,098 \text{ h}^{-1}$ que tiene un coeficiente de regresión para la curva exponencial ($R^2 = 0,9132$) y corresponde $-2,35 \text{ día}^{-1}$. El signo negativo hace referencia a la reducción de cloro residual en el tiempo.

En la Tabla 18 se presenta los resultados de las constantes de desintegración de masa (K_b) para los 30 puntos de muestreo a lo largo de la red de EMAPAL de cada uno de los meses de monitoreo con su respectivo promedio; en la Tabla 19 se presentan los resultados de los 20 puntos de muestreo de la Zona Alta del mes de

Marzo del 2017. Los espacios que se encuentran en blanco se debió a que no se pudo tomar las muestras por daños en las tuberías del tanque de Zhapacal.

Tabla 18 Constantes de desintegración K_b (d^{-1}) de la red de EMAPAL (Fuente: Autores, 2017)

Número de Muestra	Julio	Agosto	Septiembre	Enero	Febrero
	K_b (d^{-1})	K_b (d^{-1})	K_b (d^{-1})	K_b (d^{-1})	K_b (d^{-1})
1	2,35	4,70	2,47	5,74	3,7
2	3,91		*	3,65	4,5
3	2,98	6,77	2,64	*	5,4
4	2,16	0,00	4,58	2,76	4,0
5	4,03	9,10	3,14	8,95	*
6	2,18	1,99	2,40	*	8,2
7	2,47	3,82	3,31	3,50	*
8	3,00	3,00	3,22	2,90	3,9
9	2,66	3,62	3,17	4,51	4,1
10	3,60	8,11	3,62	*	6,0
11	4,32	5,23	3,72	2,93	6,3
12	3,98	2,98	*	2,64	3,5
13	2,33	6,19	*	3,41	6,1
14	2,18	3,65	*	0,00	4,0
15	1,73	3,29	*	3,07	2,6
16	2,35	2,86	*	3,77	5,8
17	1,37	5,21	2,18	3,38	5,8
18	4,10	6,43	*	*	5,9
19	2,78	6,60	*	*	*
20	3,26	0,00	2,62	5,35	3,6
21	3,48	4,87	1,94	*	*
22	4,20	3,10	4,85	4,54	4,7
23	3,94	3,98	3,34	3,24	2,1
24	3,67	3,14	*	0,00	3,5
25	5,09	8,52	*	0,00	4,3
26	2,30	0,00	*	2,83	4,0
27		2,83	2,64	*	*
28	5,21	0,00	*	7,37	4,8
29	0,00	4,61	*	4,97	4,4
30	3,98	3,41	2,62	5,38	*
Promedio	2,99	3,93	3,09	3,69	4,6
* Los datos de mediciones de cloro fueron pocos, que no permitieron determinar su comportamiento debido a una concentración de cloro residual in-situ baja. Se determino órdenes de reacción diferentes a orden uno por baja cantidad de datos.					

Tabla 19 Constantes de desintegración K_b (d^{-1}) de la red de la Zona Alta (Fuente: Autores, 2017)

Marzo	
Muestra	K_b d^{-1}
1	*
2	5.04
3	3.84
4	3.91
5	4.72
6	5.4
7	*
8	4.70
9	6.45
10	3.45
11	2.83
12	2.76
13	4.89
14	3.31
15	5.42
16	2.7
17	5.01
18	*
19	6.76
20	3.33
Promedio	3.92

En la Tabla 20 se presenta el promedio general de la constante global de desintegración de masa (K_b) cuyo valor fue de $3,71 d^{-1}$, se observa también que en el mes de febrero del año 2017 se presenta la constante de desintegración de masa más alta con un valor de $4.63 d^{-1}$ y en el mes de Julio del 2016 el valor más bajo con $2.99 d^{-1}$.

Tabla 20 Determinación de la constante global de desintegración de masa (K_b) (Fuente: Autores, 2017)

Año	Mes Muestreo	K_b (d^{-1})
2016	Julio	2.99
	Agosto	3.93
	Septiembre	3.09
2017	Enero	3.69
	Febrero	4.63
	Marzo	3.93
Promedio		3.71

4.2.3 Resultados de la determinación del coeficiente de reacción en las paredes de la tubería (K_w)

Se asumió el coeficiente de pared en las tuberías de 0.040 m/día basándose en el estudio de Modelización de la desintegración del cloro en sistemas de suministro de agua potable utilizando EPANET MSX para reacciones de primer orden (Monteiro et al., 2014).

4.2.4 Resultados de la calibración del modelo de Calidad

4.2.4.1 Resultados de la simulación del modelo de calidad basado en el modelo hidráulico calibrado

a) Modelo base de calidad

En la Ilustración 42 se representa la gráfica de concentración de cloro en 3 puntos lejanos de la red donde se muestra que el cloro se estabiliza a partir de las 24 horas de simulación; ya que a partir de la hora 24 en adelante las concentraciones de cloro tienden a mantenerse entre un rango de 0,42 a 0,57 mg/l y antes de esta hora solo se producen incrementos en las concentraciones.

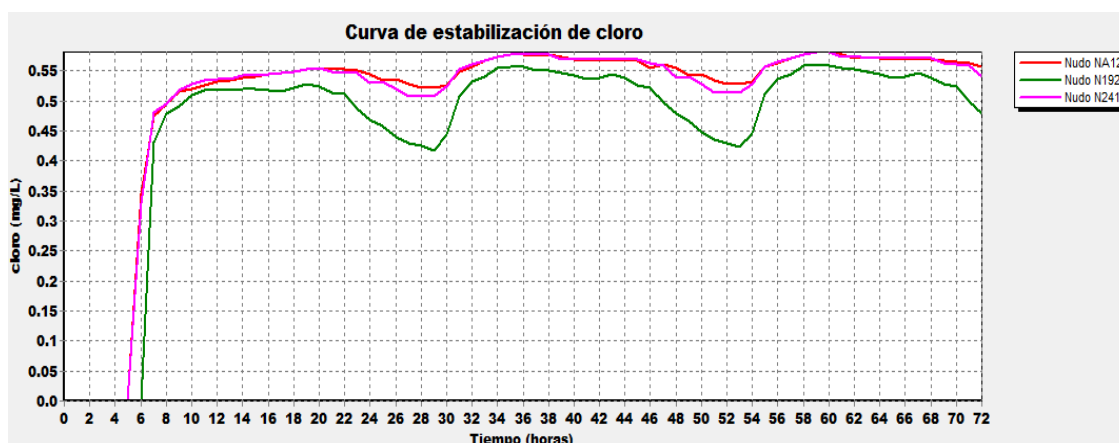


Ilustración 42 Determinación del tiempo de estabilización del cloro de la red de la Zona Alta (Fuente: Autores, 2017)

Los resultados de la primera simulación del modelo de calidad utilizando los coeficientes globales $K_b = -3.71 \text{ d}^{-1}$ y $K_w = -0.04 \text{ d}^{-1}$ a la hora de máximo consumo (09H00) se muestra en la Ilustración 43, además se visualiza la distribución de cloro (mg/l) en toda la red de la Zona Alta.

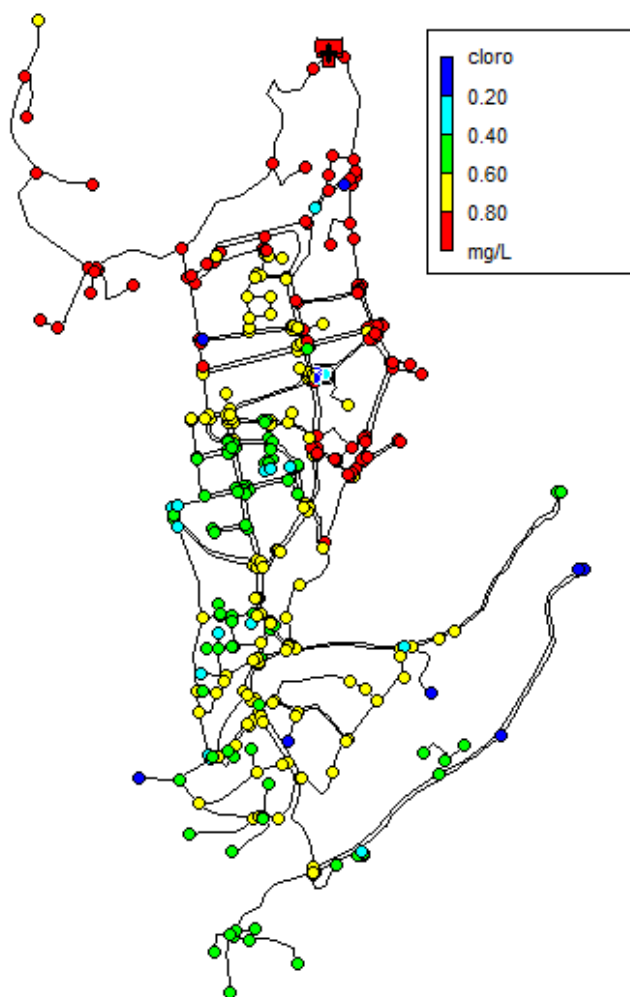


Ilustración 43 Concentraciones de cloro (mg/l) a las 9:00 am, primera simulación (Fuente: Autores, 2017)

Los datos de las mediciones in situ de cloro residual realizado en el mes de marzo y la asignación al nodo que corresponden se presenta en la Tabla 21. Todos los datos de las mediciones cumplen con la normativa NTE INEN 1108, 2014

Tabla 21 Datos de mediciones de cloro (mg/l) para calibración del modelo de calidad

Numero de muestra	Id del Nodo	Punto de muestreo	Cloro (mg/l)
1	N282	Vivienda 4 de Noviembre y Oriente	0.54
2	N75	Vivienda Vía Oriente y Azuay	0.39
3	N105	Vivienda Miguel Heredia y Oriente	0.71
4	N103	Vivienda Calle Miguel Heredia y Carlos Aguilar Vásquez	0.73

5	N17	Vivienda Avenida de los Cañarís y Bartolomé Serrano	0.7
6	N99	Vivienda Carlos Aguilar V. y Coronel Francisco Carrasco	0.72
7	N129	Vivienda Guayas y 4 de Noviembre	0.38
8	A29	Vivienda Bartolomé Serrano y Coronel Francisco Carrasco	0.66
9	N216	Vivienda Aurelio Jaramillo y José Joaquín de Olmedo	0.44
10	N236	Vivienda Av. Rumiñahui y Segundo Méndez	0.4
11	N218	Vivienda Eugeni Espejo y Av. Rumiñahui	0.50
12	N35	Vivienda Calle Miguel Heredia	0.69
13	N164	Vivienda 4 de noviembre y Av. La Virgen	0.59
14	N217	Vivienda Eugeni Espejo y Av. Rumiñahui	0.59
15	N241	Avenida Gonzales Suarez	0.34
16	N200	Vivienda Jaime Vélez	0.63

En la Tabla 22 se indica el valor de las concentraciones de cloro medidas in-situ y calculadas en la primera simulación a partir del modelo hidráulico calibrado, así como el cálculo de los errores en cada uno de los nodos. Los errores obtenidos en el informe de calibración del modelo de calidad de la primera simulación presentan valores altos considerando las unidades de medición (mg/l) determinando una correlación de Pearson de 0.921.

Tabla 22 Informe de calibración de la primera simulación del modelo de calidad (Fuente: Autores 2017)

Localización	Cloro observado (mg/l)	Cloro calculado (mg/l)	Error	Error medio cuadrático
N282	0.54	0.64	0.104	0.104
N105	0.71	0.79	0.079	0.079
N103	0.73	0.82	0.092	0.092
N17	0.70	0.89	0.188	0.188
N99	0.72	0.81	0.089	0.089
N129	0.38	0.55	0.166	0.166
N216	0.44	0.65	0.212	0.212
N236	0.40	0.63	0.231	0.231
A29	0.66	0.80	0.141	0.141

N217	0.59	0.69	0.105	0.105
N241	0.34	0.58	0.237	0.237
N200	0.63	0.70	0.067	0.067
N218	0.50	0.69	0.186	0.186
N35	0.69	0.81	0.124	0.124
N164	0.59	0.74	0.145	0.145
N75	0.65	0.73	0.084	0.084
Sistema de Red	0.58	0.72	0.141	0.151
Correlación de los términos		0.921		

En la Ilustración 44 se presenta una gráfica de barras de comparación entre los valores de cloro observados y calculados en la primera simulación del modelo de calidad. Las diferencias entre las concentraciones de cloro residual observadas y calculadas presentan variaciones de 0.079 mg/l a 0.237 mg/l, estos datos sirvieron para la calibración del modelo en las siguientes etapas.

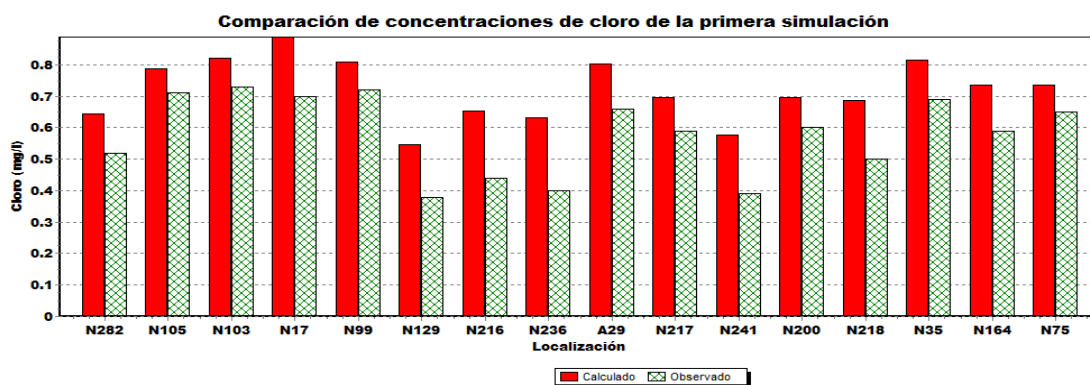


Ilustración 44 Comparación de los valores de cloro calculados y observados en la primera simulación del modelo de calidad (Fuente: Autores 2017)

b) Modelo de calidad calibrado

En la Tabla 23 se indica el valor de las concentraciones de cloro medidas in-situ y las calculadas en el modelo de calidad calibrado, así como el cálculo de los errores en cada uno de los nodos. Los errores obtenidos en el informe de calibración del modelo de calidad calibrado presentan valores bajos en relación a la Tabla 22 descrita anteriormente. Se determinó una correlación de Pearson de 0.96 lo que señala una correcta calibración del modelo.

Tabla 23 Informe de calibración de la simulación del modelo de calidad calibrado (Fuente: Autores 2017)

Localización	Cloro observado (mg/l)	Cloro calculado (mg/l)	Error	Error medio cuadrático
N282	0.54	0.53	0.006	0.006
N105	0.71	0.66	0.053	0.053
N103	0.73	0.69	0.039	0.039
N17	0.70	0.75	0.055	0.055
N99	0.72	0.68	0.042	0.042
N129	0.38	0.40	0.018	0.018
N216	0.44	0.47	0.032	0.032
N236	0.40	0.45	0.045	0.045
A29	0.66	0.66	0.003	0.003
N217	0.59	0.56	0.034	0.034
N241	0.34	0.37	0.033	0.033
N200	0.63	0.57	0.063	0.063
N218	0.50	0.55	0.046	0.046
N35	0.69	0.72	0.028	0.028
N164	0.59	0.59	0.003	0.003
N75	0.65	0.62	0.026	0.026
Sistema de Red	0.58	0.58	0.033	0.037
Correlación de los términos		0.96		

En la ilustración 45 se presenta una gráfica de barras de comparación entre los valores de cloro observados y calculados en el modelo de calidad calibrado. Las diferencias entre las concentraciones de cloro residual observadas y calculadas presentan variaciones que van de 0.003 mg/l a 0.063 mg/l, lo cual indica una correcta similitud entre los valores del modelo y las mediciones in-situ.

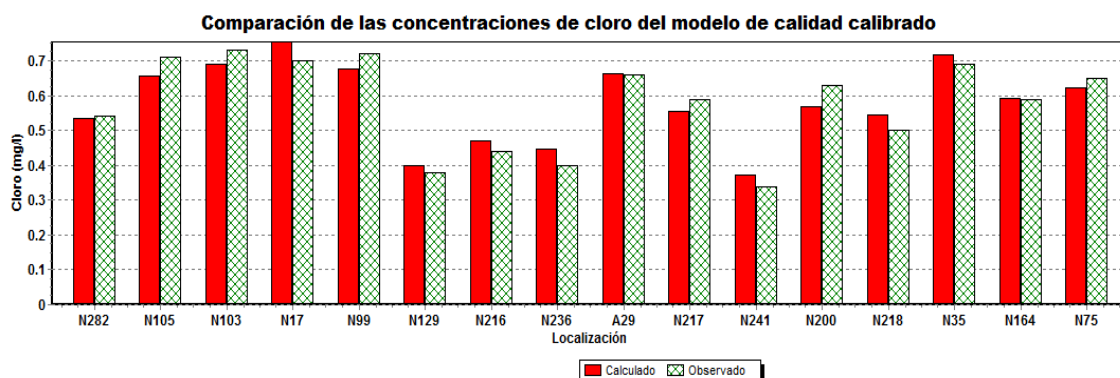


Ilustración 45 Comparación de los valores de cloro calculados y observados en la simulación del modelo de calidad calibrado (Fuente: Autores 2017)

4.2.5 Resultados de la validación del modelo hidráulico

4.2.5.1 Monitoreo de cloro residual para la validación del modelo

En la Tabla 24 se muestra los datos de las concentraciones de cloro residual medidas in-situ para la validación del modelo de calidad y la asignación a los nodos correspondientes en la red de distribución de EPANET con sus respectivas horas de muestreo.

Tabla 24 Medición de concentraciones de cloro residual para la validación del modelo de calidad (Fuente: Autores 2017)

Número de muestra	Punto de muestreo	Nodo	Hora de medición	Cloro residual (mg/l)
1	Vivienda Calle José María Urbina y Vicente Rocafuerte	N5	9:00	0.91
2	Vivienda Calle Rafael M. García e Ingapirca	N276	9:00	0.9
3	Vivienda Calle los Eucaliptos	N51	9:00	0.61
4	Vivienda Los Olivos y Luis Bravo Gonzales	N66	9:00	0.58
5	Vivienda Carlos Aguilar V. y Coronel Francisco Carrasco	N12	10:00	0.69
6	Vivienda Calle Bartolomé Serrano y 4 de Noviembre	N118	10:00	0.58
7	Vivienda Calle Coronel Francisco Carrasco y Carlos Aguilar Vásquez	N110	11:00	0.62
8	Vivienda Calle Jaime Vélez Z.	N202	11:00	0.52
9	Vivienda Calle Segundo Méndez y Demetrio Aguilar Malta	N230	10:00	0.5
10	Vivienda Calle del Estadio y Galo Plaza Lazo	N251	11:00	0.47
11	Vivienda Av. Gonzales Suarez	N242	11:00	0.43
12	Vivienda Calle 4 de Noviembre y 3 de Noviembre	N128	11:00	0.49
13	Vivienda Vía Oriente y 3 de Noviembre	N126	11:00	0.37
14	Vivienda Av. Gonzales Suarez y Galo Plaza Lazo	N240	11:00	0.56
15	Vivienda Calle Atahualpa y Piscar Cápac	N170	11:00	0.47

La asignación de los diferentes puntos se realizó en base a los intervalos de las concentraciones que se observaron en la simulación del modelo de calidad calibrado. Todas las mediciones realizadas el día 21 de Junio del 2017 se encuentran cumpliendo la Norma NTE INEN 1108, 2014

4.2.5.2 Resultados de la simulación

En la Tabla 25 se indica el valor de las concentraciones de cloro medidas in-situ para la validación y las calculadas en el modelo de calidad calibrado, así como el cálculo de los errores en cada uno de los nodos. Los errores obtenidos en el informe del modelo de calidad calibrado para la validación presentan valores bajos, se determinó una correlación de Pearson de 0.974 lo que ratificó que el modelo de calidad se calibró, presentando una correcta similitud con las mediciones a lo largo de la red de distribución.

Tabla 25 Informe de calibración de la simulación del modelo de calidad validado (Fuente: Autores 2017)

Localización	Cloro observado (mg/l)	Cloro calculado (mg/l)	Error	Error medio cuadrático
N5	0.91	1.06	0.149	0.149
N276	0.90	1.10	0.201	0.201
N51	0.61	0.57	0.044	0.044
N66	0.58	0.58	0.002	0.002
N12	0.69	0.88	0.190	0.190
N118	0.58	0.58	0.002	0.002
N110	0.62	0.68	0.060	0.060
N202	0.52	0.56	0.038	0.038
N230	0.50	0.47	0.026	0.026
N251	0.47	0.44	0.027	0.027
N242	0.43	0.38	0.054	0.054
N128	0.49	0.44	0.053	0.053
N126	0.37	0.34	0.031	0.031
N240	0.56	0.46	0.098	0.098
N170	0.47	0.43	0.044	0.044
Sistema de Red	0.58	0.60	0.068	0.09
Correlación de los términos		0.974		

En la Ilustración 46 se presenta una gráfica de barras de comparación entre los valores de cloro observados para la validación y calculados en la simulación del modelo de calidad calibrado. Las diferencias entre las concentraciones de cloro residual observadas y calculadas presentan variaciones que van de 0.002 mg/l a 0.201 mg/l, lo cual indica que el modelo de calidad se calibro de manera correcta.

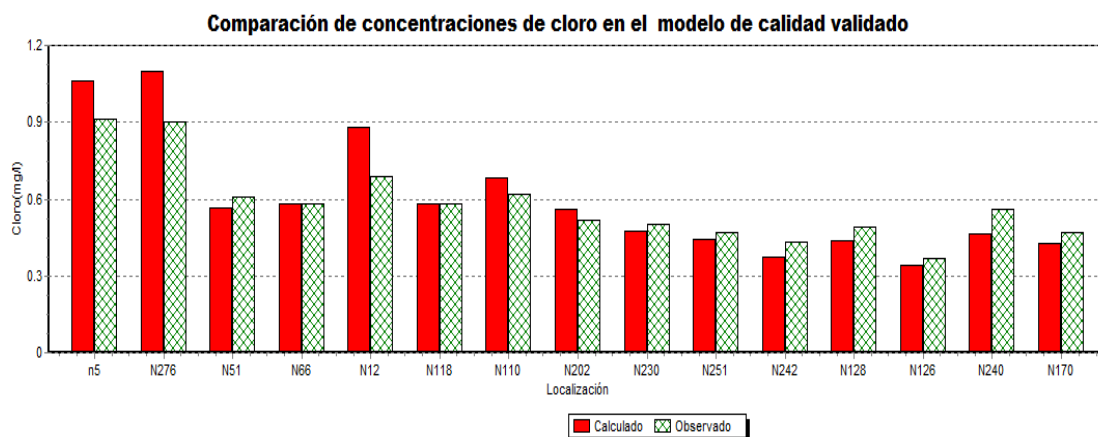


Ilustración 46 Comparación de los valores de cloro calculados y observados en la simulación del modelo de calidad Validado (Fuente: Autores 2017)

En la Ilustración 47 se observa los resultados finales de validación del modelo de calidad con las concentraciones de cloro a lo largo de la red de la Zona Alta simuladas para los periodos de mínimo, medio y máximo consumo correspondientes a las horas 02H00, 16H00 y 09H00. El cloro residual para los periodos de demanda media y máxima no presentan variación en sus concentraciones en toda la red, mientras que, para el periodo de demanda mínima la concentración de cloro en la línea de suministro disminuye considerablemente, debido a que la circulación del agua es baja o nula produciendo que el líquido permanezca más tiempo en la línea de suministro.

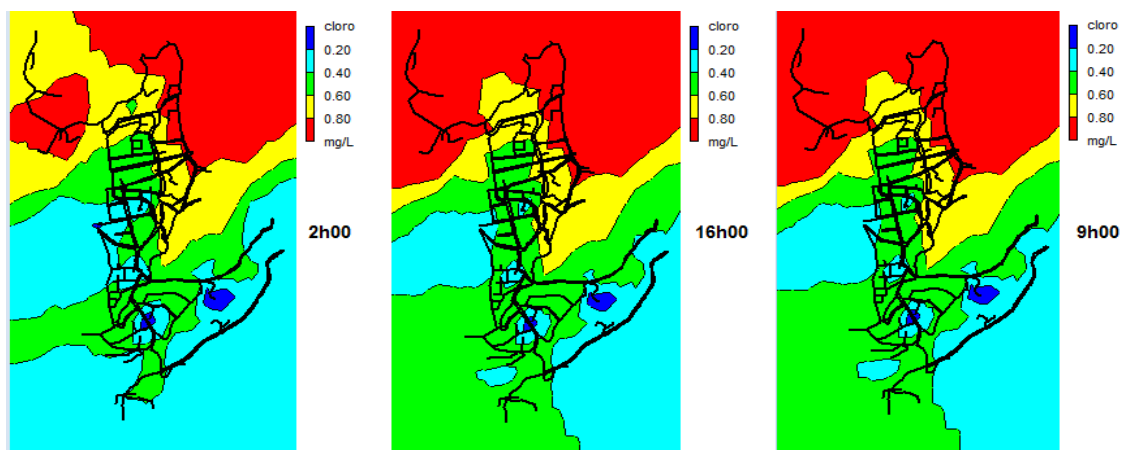


Ilustración 47 Mapas de concentraciones de cloro residual (mg/l) del modelo de calidad validado para diferentes periodos de consumo (Fuente: Autores 2017)

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

Se logró evaluar el comportamiento del cloro residual en la red de distribución de agua potable de la zona alta de la ciudad Azogues utilizando el software de simulación EPANET.

Una vez simulado el modelo de cloro residual se identificaron 15 puntos estratégicos en base a los intervalos de concentraciones observados para las mediciones de cloro residual in-situ, los puntos se presentaron en la Tabla 24, con lo cual se garantiza la calidad del agua.

En base al modelo de calidad calibrado se determinó que la dosificación promedio de cloro (1,2 mg/l) utilizado en las plantas potabilizadoras garantiza la presencia del cloro residual en toda la red de abastecimiento de la Zona Alta; se obtuvo en el tanque de la Zona Alta un promedio de 0,868 mg/l y en los domicilios un promedio de 0,56 mg/l cumpliendo con lo recomendado en la norma NTE INEN 1108:2014 DE 0.3 mg/l a 1.5mg/l.

Con el modelo de cloro residual calibrado y validado se puede simular el comportamiento del cloro residual en la red de distribución usando el software EPANET, permitiendo conocer la concentración de cloro en cualquier punto de la red y cualquier instante, conociendo previamente el nivel del tanque y la concentración de cloro en el mismo.

El coeficiente de reacción del cloro con el agua (K_b) fue de $3,71 \text{ d}^{-1}$ en base a los monitoreo realizados en los meses de Julio, Agosto, Septiembre del 2016 y de Enero, Febrero y Marzo del 2017 lo cual concuerda con el estudio del Desempeño de varios modelos cinéticos para el decaimiento de cloro realizado en la región de Serven Trent Inglaterra cuyo valor fue de 0,240 a $7,7 \text{ d}^{-1}$.

Se utilizó un coeficiente de reacción en las paredes de las tuberías (K_w) de 0,02 m/d, dicho valor se encuentra dentro del rango establecido en el manual del programa EPANET de 0 a 1,2 m/d, y cercano al estudio de Modelación de la desintegración de cloro en sistemas de suministro de agua potable en el cual se determinó un K_w de 0,040 m/d.

Los modelos hidráulico y de calidad de agua potable en la línea de suministro de la Zona Alta realizado en EPANET, puede predecir los comportamientos que se dan en cualquier punto de la red de distribución tomando en cuenta que los datos de entrada (niveles y calidad inicial en el tanque de almacenamiento) sean los correctos.

Para el desarrollo del modelo de calidad de cloro residual fue importante iniciar con un modelo hidráulico calibrado que represente las situaciones reales de la red de distribución de la Zona Alta, mediante la simulación del modelo hidráulico se obtuvo una correlación de Pearson de 0.996 entre las mediciones in-situ y los valores calculados en la simulación de EPANET, con lo que se logró que el modelo represente de manera correcta el comportamiento hidráulico de la red de distribución.

El resultado de la simulación de calidad proporcionó una correlación entre los valores de cloro observados in-situ y calculados en el EPANET de 0.961, ultimando que el modelo de calidad simulado representa el comportamiento de decaimiento de cloro en la red de distribución.

5.2 RECOMENDACIONES

El personal que opera en las plantas potabilizadoras de Azogues deberá ser capacitado de manera continua el manejo del programa y análisis de resultados.

Para que los modelos planteados puedan ser utilizados a lo largo del tiempo se recomienda mantenerlos continuamente actualizados y calibrados en el programa EPANET con el fin de garantizar que los datos se ajusten a la realidad del sistema.

Se recomienda realizar mediciones de caudal en la salida del tanque de abastecimiento por un tiempo mínimo de un año con el objetivo de obtener la tendencia exacta de la curva de variación horaria.

Realizar monitoreos continuos de cloro residual en la zona del Calvario con el fin de determinar si las mediciones se encuentran cumpliendo la norma NTE INEN 1108,2014, de no cumplir el rango establecido de 0.3 mg/l a 1.5mg/l se recomienda realizar un estudio detallado de la red de distribución del sector para garantizar la calidad del producto.

Se recomienda aplicar el modelo para las demás zonas de la red de agua potable manejada por la empresa EMAPAL para tener una visión global del comportamiento del desinfectante en toda la red de distribución.

Realizar un estudio profundo, como influye la temperatura en el cálculo en la constatación de reacción del cloro con el agua kb.



Se recomienda determinar experimentalmente la constante de reacción del cloro con las paredes de la tubería Kw para comprobar si el valor utilizado es el correcto.

BIBLIOGRAFÍA

- Ahn, J. C., Lee, S. W., Choi, K. Y., & Koo, J. Y. (2012). Application of EPANET for the determination of chlorine dose and prediction of THMs in a water distribution system. *Sustainable Environment Research*, 22(1), 31–38.
- Alcocer-Yamanaka, V. H. A. (2007). *MANUAL DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO MODELACIÓN HIDRÁULICA Y DE CALIDAD DEL AGUA EN REDES DE DISTRIBUCIÓN*. México. Recuperado a partir de <http://www.mapasconagua.net/libros/SGAPDS-1-15-Libro13.pdf>
- Arasmith, S. (2014). *Introduction to Small Water Systems: A Course for Level 1 Operators*. ACR Publications.
- Atlas, D. ., Coombs, D. ., & Zajicek, O. . (1982). THE CORROSION OF COPPER BY CHLORINATED DRINKING WATERS. *Water Res.*, 16, 693–698.
- Baños Caballero, D., & others. (2016). Modelado y simulación de la calidad de agua en una red de abastecimiento municipal: implementación y validación en el municipio de Alcantarilla. Recuperado a partir de <http://repositorio.upct.es/handle/10317/5731>
- Brown, T. L. (2015). *Chemistry: the central science* (Thirteen edition). Boston: Pearson.
- CAÑERO, J. L. (2016). *Fontanería y calefacción básica*. Ediciones Paraninfo, S.A.
- Castro, P., & Neves, M. (2003). Chlorine decay in water distribution systems case study–Iousada network. *Electronic Journal of Environmental, Agricultural and Food Chemistry*, 2(2), 261–266.
- Çengel, Y. A., & Cimbala, J. M. (2006). *Fluid mechanics: fundamentals and applications*. Boston: McGraw-Hill Higher Education.
- Chapman, D. (Ed.). (1996). *Water quality assessments: a guide to the use of biota, sediments and water environmental monitoring* (2. ed). London: E & FN Spon.
- Crittenden, J. C., Howe, K. J., Hand, D. W., Tchobanoglous, G., & Trussell, R. R. (Eds.). (2012). *Principles of water treatment* (Third edition, Student edition). Hoboken: Wiley.



- Duque, J. (2015). *Metodología constructiva para instalaciones hidráulicas y sanitarias en viviendas*. PUCE. Recuperado a partir de <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/11167>
- Elsheikh, M. A., Saleh, H. I., Rashwan, I. M., & Et-Samadoni, M. M. (2013). Hydraulic modelling of water supply distribution for improving its quantity and quality. *Sustain. Environ. Res*, 23(6), 403–411.
- EMAPAL EP. (2016). Zonificación del Sistema de Agua Potable del Cantón Azogues. Recuperado 5 de mayo de 2017, a partir de http://www.emapal.gob.ec/index.php?option=com_content&view=article&id=120:zonificacion&catid=64
- Environmental Protection Agency. (2011). *Water Treatment Manual: Disinfection*. Environmental Protection Agency. Recuperado a partir de https://www.epa.ie/pubs/advice/drinkingwater/Disinfection2_web.pdf
- Fisher, I., Kastl, G., & Sathasivan, A. (2012). A suitable model of combined effects of temperature and initial condition on chlorine bulk decay in water distribution systems. *Water Research*, 46(10), 3293–3303. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2012.03.017>
- Flechas, R. (2012). EFECTO DEL USO DE LA ECUACIÓN DE DARCY-WEISBACH VS LA ECUACIÓN DE HAZEN-WILLIAMS EN EL DISEÑO DE REDES MATRICES.
- García, M. del M. (2006). MODELACIÓN Y SIMULACIÓN DE REDES HIDRÁULICAS A PRESIÓN MEDIANTE HERRAMIENTAS INFORMÁTICAS. Recuperado a partir de https://www.upct.es/hidrom/publicaciones/Tesis_pfc/PFC_MMarGracia_2006.pdf
- Garzón, A. (2014). *Evaluación Patrones de Consumo y Caudal Máximos Instantáneos de Usuarios Residenciales en la Ciudad de Bogotá*. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.



- Ginnobili, S. (2010). La teoría de la selección natural darwiniana (The Darwinian Theory of Natural Selection). *THEORIA. Revista de Teoría, Historia y Fundamentos de la Ciencia*, 25(1), 37–58.
- Gonzales Liduette, & Barrantes Lorena. (2004). *Cinética Química Aplicada a Los Procesos de Descomposición de Los Fármacos*. Editorial Universidad de Costa Rica.
- Hughes, T. C., & Jeppson, R. W. (1978). Hydraulic Friction Loss in Small Diameter Plastic Pipelines1. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 14(5), 1159–1166. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.1978.tb02254.x>
- Legay, C., Rodriguez, M. J., Sérodes, J. B., & Levallois, P. (2010). Estimation of chlorination by-products presence in drinking water in epidemiological studies on adverse reproductive outcomes: A review. *Science of The Total Environment*, 408(3), 456–472. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2009.10.047>
- Luque, R. G. (2011). *Química general para las ciencias ambientales*. Universitat de València.
- Martínez, F., Iglesias, P., & Molina, S. (2015). Calibración de modelos de redes de distribución de agua mediante la utilización conjunta de demandas y consumos dependientes de la presión, 10.
- Mays, L. (2010). *Water Transmission and Distribution WSO: Principles and Practices of Water Supply Operations* (4 edition). Denver, CO: American Water Works Association.
- Mostafa, N. G., Matta, M. E., & Halim, H. A. (2013). Simulation of Chlorine Decay in Water Distribution Networks Using EPANET–Case Study. *Simulation*, 3(13). Recuperado a partir de https://www.researchgate.net/profile/Nagwan_Mostafa/publication/272349818_Simulation_of_Chlorine_Decay_in_Water_Distribution_Networks_Using_EPANET_-_Case_Study/links/54e2033b0cf24d184b124432.pdf



- Norton, C. ., & LeChevallier, M. . (1997). Chloramination: its effect on distribution system water quality. *American Water Works Associatio*, 89(7), 66–76.
- NTE INEN 1108. (2014). AGUA POTABLE. REQUISITOS. Recuperado a partir de <http://normaspdf.inen.gob.ec/pdf/nte/1108-5.pdf>
- NTE INEN 2176. (1998). Agua. Calidad del agua. Muestreo. Técnicas de muestreo.
- NTE INEN 2169. (1998). Agua. Calidad del agua. Muestreo manejo y conservación de muestras.
- NTE INEN 2226. (2000). Agua calidad del agua. Muestreo. Diseño de los programas de muestreo.
- Organización Panamericana de la Salud. (2007). GUÍA PARA LA SELECCIÓN DE *SISTEMA DE DESINFECCIÓN*. Lima. Recuperado a partir de <http://www.bvsde.paho.org/tecapro/documentos/agua/guiaseleccsistdesinf.pdf>
- Rossman, L. (2000). *Epanet 2: users manual*. Cincinnati, Ohio: U.S. Environmental Protection Agency. Office of Research and Development. National Risk Management Research Laboratory.
- Rossman, L. A., Clark, R. M., & Grayman, W. M. (1994). Modeling Chlorine Residuals in Drinking-Water Distribution Systems. *Journal of Environmental Engineering*, 120(4), 803–820. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9372\(1994\)120:4\(803\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9372(1994)120:4(803))
- Rossman, L., Grayman, W., Bouls, P., & Clark, R. (1997). Kinetics of chlorine decay. Recuperado a partir de <http://search.proquest.com/openview/600efcc78c0d262237796191543e1118/1?pq-origsite=gscholar&cbl=25142>
- Ruiz, J. P. (2004). APLICACION DEL PROGRAMA EPANET A TRES SECTORES DE LA RED DE DISTRIBUCION DE AGUA POTABLE DEL DISTRITO FEDERAL.
- Savic, D. A., Kapelan, Z. S., & Jonkergouw, P. M. (2009). Quo vadis water distribution model calibration? *Urban Water Journal*, 6(1), 3–22.
- sistema intermunicipal de agua potable y alcantarillado. (2014). CRITERIOS Y LINEAMIENTOS TÉCNICOS PARA FACTIBILIDADES, MEXICO. Recuperado



a partir de <http://www.siapa.gob.mx/transparencia/criterios-y-lineamientos-tecnicos-para-factibilidades-en-la-zmg>

Sistema Nacional de Estándares de Urbanismo. (2011). CAPÍTULO III:

NORMALIZACIÓN DE INFRAESTRUCTURA URBANA Y PROPUESTA DE ESTÁNDARES. Recuperado a partir de

https://issuu.com/amallquis/docs/sist_nac_std-urb

Snyder, J. K. (2002). *Impacts of fire flow on distribution system water quality, design, and operation*. American Water Works Association. Recuperado a partir de <http://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=0FZMI8mcjYcC&oi=fnd&pg=PR11&dq=%22of+System+Examples%22+%22Water+Supply+Concepts%22+%22Water+Monitoring+Requirements%22+%22of+Nonpotable+Water%22+%227:+Impacts+of+Fire+Flow+on+Distribution+System+Water+Quality,+Design+and+Operation+.....%22+&ots=umwqGi8U5K&sig=1ITiY7LcL1i36LTDUmMwXZy5xsU>

Solsona, F., & Mendez, J. P. (2002). Desinfección del agua. *OPS/CEPIS/PUB/02.83*. Recuperado a partir de <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=PE2002106226>

Spellman, F. R., & Drinan, J. (2004). *Manual del agua potable*. Acribia.

Trifunovic, N. (2006). *Introduction to urban water distribution*. London ; New York: Taylor & Francis.

Tzatchkov, V., & Alcocer Yamanaka, V. H. (2004). Decaimiento del cloro por reacción con el agua en redes de distribución. Recuperado a partir de <http://repositorio.imta.mx:8080/cenca-repositorio/handle/123456789/719>

Tzatchkov, V., & Arreguín Cortés, F. I. (1996). Modelo de la calidad del agua en redes de distribución con flujo permanente. Recuperado a partir de <http://repositorio.imta.mx:8080/cenca-repositorio/handle/123456789/1248>



- Van den Berg, C., Danilenko, A., Macheve, B., & Moffitt, L. J. (2014). *The IBNET water supply and sanitation blue book 2014: the international benchmarking network for water and sanitation utilities databook*. Washington, D.C: World Bank Group.
- Varaprasad, B. J. S. (2012). Investigations on deposits in domestically used PVC pipes. *INFLIBNET*. Recuperado a partir de <http://shodhganga.inflibnet.ac.in:8080/jspui/handle/10603/4525>
- Vidal, R., Martínez, F., & Ayza, M. (1994). Aplicaciones de los modelos de calidad en la simulación de las redes de distribución de agua potable. *Ingeniería del agua*, 1(3). Recuperado a partir de <http://ojs.cc.upv.es/index.php/IA/article/view/2644>
- Walski, T. M., Chase, D. V., & Savic, D. (2001). *Advanced water distribution modeling and management* (1st ed). Waterbury, CT, U.S.A: Haestad Press.
- World Health Organization. (2006). *Guidelines for drinking-water quality* (third, Vol. 1). Geneva: WHO.

ANEXOS**Anexo 1****Ubicación y estado de las válvulas según el porcentaje de abertura con su respectivo coeficiente de pérdidas menores**

ID de válvula	Coordenadas		% de abertura	Estado	Coeficiente de pérdidas
	X	Y			
V1	739930.24	9697750.81	100	Abierta	0.2
V10	739582.67	9697308.22	0	Cerrada	0
V11	739583.52	9697301.7	0	Cerrada	0
V12	739815.5	9697364.58	30	Semiabierta	2.1
V13	739807.82	9697358.54	40	Semiabierta	2.1
V14	739808.68	9697348.02	87	Abierta	0.3
V15	739828.86	9697367.71	0	Cerrada	0
V16	739830.36	9697352.81	0	Cerrada	0
V17	739980.03	9697407.04	100	Abierta	0.2
V18	739991.53	9697405.46	37	Semiabierta	2.1
V19	739969.28	9697399.35	100	Abierta	0.2
V2	739918.69	9697736.31	100	Abierta	0.2
V20	739971.84	9697389.83	0	Cerrada	0
V21	739975.64	9697400.93	100	Abierta	0.2
V22	739850.59	9697294.09	88	Abierta	0.3
V23	739976.54	9697371.68	100	Abierta	0.2
V24	739991.61	9697380.63	34	Semiabierta	2.1
V25	740031.1	9697320.35	100	Abierta	0.2
V26	739977.89	9697383.33	0	Cerrada	0
V27	739852.5	9697286.81	0	Cerrada	0
V28	739847.17	9697282.26	95	Abierta	0.3
V29	739597.99	9697197.81	33	Semiabierta	2.1
V3	739947.55	9697488.77	53	Semiabierta	2.1
V30	739640.07	9697193.95	92	Abierta	0.3
V31	739650.38	9697186.56	100	Abierta	0.2
V32	739645.19	9697178.68	100	Abierta	0.2
V33	739644.51	9697138.57	0	Cerrada	0
V34	739643.18	9697130.62	30	Semiabierta	2.1
V35	739749.83	9696517.96	0	Cerrada	0
V36	739569.65	9697097.17	88	Abierta	0.3
V37	739641.79	9697115.95	56	Semiabierta	2.1
V38	739643.78	9697106.99	75	Semiabierta	0.3
V39	739650.89	9697117.65	63	Semiabierta	2.1
V4	739949.11	9697482.94	47	Semiabierta	2.1



V40	739744.17	9697115.34	45	Semiabierta	2.1
V41	739680.47	9697026.88	75	Semiabierta	0.3
V42	739669.38	9697024.03	50	Semiabierta	2.1
V43	739662.63	9697022.48	0	Cerrada	0
V44	739961.41	9697142.59	95	Abierta	0.3
V45	739964.75	9697130.43	100	Abierta	0.2
V46	739900.01	9697087.79	100	Abierta	0.2
V47	739960.77	9697095.47	100	Abierta	0.2
V48	739938.45	9697048.81	0	Cerrada	0
V49	739936.25	9697061.64	94	Abierta	0.3
V5	739792.47	9697396.35	40	Semiabierta	2.1
V50	739582.29	9696544.4	0	Cerrada	0
V51	739654.43	9696710.07	100	Abierta	0.2
V53	739636.95	9696580.86	57	Semiabierta	2.1
V54	739608.66	9696389.11	0	Cerrada	0
V55	739804.96	9696486.76	100	Abierta	0.2
V56	739334.48	9697543.42	100	Abierta	0.2
V57	739331.21	9697534.48	100	Abierta	0.2
V58	739526.51	9696981.27	100	Abierta	0.2
V59	739683.22	9697011.9	94	Abierta	0.3
V6	739793.04	9697403.74	0	Cerrada	0
V60	739972.08	9697094.52	100	Abierta	0.2
V61	739931.43	9697056.36	96	Abierta	0.3
V62	739925.46	9697053.91	100	Abierta	0.2
V63	739797.71	9696651.54	0	Cerrada	0
V64	739800.91	9696645.29	69	Semiabierta	2.1
V65	740050.08	9696627.09	48	Semiabierta	2.1
V66	739718.18	9696616.15	63	Semiabierta	2.1
V67	739785.01	9696655.64	0	Cerrada	0
V68	739782.93	9696651.3	100	Abierta	0.2
V69	739780.73	9696643.44	84	Abierta	0.3
V7	739582.39	9697375.32	0	Cerrada	0
V70	739710.93	9696623.82	100	Abierta	0.2
V71	739727	9696474.15	100	Abierta	0.2
V72	739771.06	9696373.51	100	Abierta	0.2
V73	739707.52	9696617.38	100	Abierta	0.2
V8	739580.64	9697367.01	0	Cerrada	0
V9	739693.07	9697398.87	50	Semiabierta	2.1
VA1	739556.26	9697524.75	89	Abierta	0.3
VA2	739806.4	9697400	100	Abierta	0.2



VA3	739647.13	9697195.34	93	Abierta	0.3
VA4	739671.6	9697013.8	54	Semiabierta	2.1
VA5	739656.97	9696651.01	29	Semiabierta	2.1
VA6	739812.68	9696339.62	65	Semiabierta	2.1
VA8	739524.35	9696932.87	0	Cerrada	0
VRP1	739826.35	9697363.45	100	Abierta	0.2



Anexo 2

Cálculo del coeficiente de perdidas menores para diferentes tuberías de la red de la Zona Alta

ID de Tubería	Sumatoria de codos de 45	Sumatoria de codos de 90	Sumatoria de T de desvío	Sumatoria de T lineales	Sumatoria por tubería
AT1	0	0	0	0	0
T1	0.4	0	0	0	0.4
T10	0	0	0	0	0
T100	0.4	0.8	0	0	1.2
T102	0	0.8	0	0	0.8
T103	0	0	0	0	0
T104	0	0.8	0	0.6	1.4
T104A	0	0	0	0	0
T105	0	0.8	0	0.6	1.4
T105A	0	0	0	0	0
T106	0	0	0	0	0
T107	0	0	0	0	0
T108	0	0	0	0	0
T109A	0	0.8	1.8	0	2.6
T11	0	0	0	0	0
T110	0	1.6	0	0	1.6
T111	0	0.8	0	0	0.8
T112	0	0.8	0	0	0.8
T112A	0	0	0	0	0
T113	0.4	0.8	0	0	1.2
T114	0	0.8	0	0	0.8
T114A	0	0	0	0	0
T115	0.4	0	1.8	0	2.2
T116	0	0.8	0	0	0.8
T117	0	0	0	0	0
T117A	0	0	0	1.2	1.2
T118	0	0	3.6	0	3.6
T119	0	0	0	0	0
T12	0	0.8	0	0	0.8
T121	0	0	0	0	0
T122	0	0	1.8	0	1.8
T123	0	0.8	0	0	0.8
T124	0.8	0	0	0	0.8



T125	0	0	0	0	0
T126	0	0.8	0	0	0.8
T126A	0	0	1.8	0	1.8
T127	0	0	0	0	0
T128	0	0	1.8	0	1.8
T128B	0	0	1.8	0	1.8
T129	0	0	0	0.6	0.6
T13	0	0	1.8	0	1.8
T130	0.4	0	0	0	0.4
T130A	0	0	0	0.6	0.6
T131	0.4	0	0	0	0.4
T132	0.4	0	0	0	0.4
T133	0	0	1.8	0	1.8
T133A	0	0	0	0	0
T134	0.4	0	0	0	0.4
T136	0	0.8	0	0	0.8
T138	0	0	0	0.6	0.6
T139	0	0	0	0	0
T14	0	0	0	0	0
T140	0	0	1.8	0	1.8
T141	0	0	0	0	0
T142	0	0	0	0	0
T142A	0	0	0	0	0
T143	0	0	0	0	0
T144	0	0	0	0.6	0.6
T144A	0	0	0	0	0
T145	0	0	1.8	0	1.8
T146	0	0	1.8	0	1.8
T146A	0	0	1.8	0	1.8
T147	0	0	0	0	0
T147A	0	0	0	0	0
T149	0	0	1.8	0	1.8
T15	0	0	0	0	0
T150	0	1.6	0	0	1.6
T151	0	0.8	0	0	0.8
T152	0	0	1.8	0	1.8
T152A	0	0	1.8	0.6	2.4
T153	0	0	0	0.6	0.6
T154	0	0	0	0.6	0.6
T154A	0	0	0	0	0



T155	0	0	0	1.2	1.2
T156	0	0	0	0	0
T158	0	0	0	0	0
T159A	0	0	1.8	0	1.8
T16	0	0	0	0.6	0.6
T160	0	0	0	0	0
T161	0	1.6	0	0	1.6
T162	0	1.6	0	0	1.6
T163	0	0	0	0	0
T164	0	0	0	0	0
T164A	0	1.6	0	0	1.6
T165	0	0	0	0.6	0.6
T167	0	0	0	0	0
T168	0.4	0	0	0	0.4
T169	0	0	0	0.6	0.6
T169A	0	0	1.8	0	1.8
T16A	0	0	0	0	0
T17	0.8	0	0	0	0.8
T170	0	0	1.8	0.6	2.4
T170A	0	0	0	0	0
T171	0	0	1.8	0	1.8
T172	0	0	0	0	0
T174	0	0.8	0	0	0.8
T174A	0	0	1.8	0	1.8
T175	0	0	0	0	0
T176	0.4	0	0	0	0.4
T176A	0	0	0	0	0
T177	0.4	1.6	0	0	2
T177A	0	0	0	0	0
T178	0	0	0	0	0
T179	0.4	0	1.8	0	2.2
T18	0	0	0	0	0
T180	0	0	0	0	0
T180A	0	0	0	0	0
T181	0	0	0	0	0
T181A	0	0	1.8	0	1.8
T182	0	0	0	0	0
T183	0	1.6	0	0	1.6
T184	0	0	0	0	0
T185	0.8	0	0	0	0.8



T186	0	0.8	0	0	0.8
T186A	0	0	0	1.2	1.2
T187	0	0	0	0	0
T188	0	1.6	0	0	1.6
T189	0	0	0	0	0
T18A	0	0	0	0	0
T19	0	0	0	0	0
T190	0	0	1.8	0.6	2.4
T190A	0	0	0	0	0
T191	0	0	0	0	0
T192	0.4	0	0	0	0.4
T192A	0	1.6	0	0	1.6
T193	0.4	0	0	0	0.4
T194	0	0	0	0.6	0.6
T195	0	0	0	0	0
T196	0	0	0	0	0
T196A	0	1.6	1.8	0	3.4
T197	0	0	0	0	0
T197A	0	0	1.8	0	1.8
T198	0	0	1.8	0	1.8
T199	0.8	0	0	0	0.8
T1A	0	0	0	0	0
T2	0	0	0	0	0
T20	0	0	0	0	0
T200	0	0	1.8	0	1.8
T201	0	0	0	0	0
T201A	0	0	1.8	0	1.8
T202	0.4	0.8	0	0	1.2
T202A	0	0	1.8	0	1.8
T203	0	0	1.8	0.6	2.4
T203A	0	0	0	0.6	0.6
T204A	0	0	0	0	0
T205	0.8	0	0	0	0.8
T205A	0	0	0	0	0
T206	0.4	0.8	0	0	1.2
T206A	0	0	0	0.6	0.6
T207	0	0	0	0	0
T207A	0	0	1.8	0	1.8
T209	0	0.8	0	0	0.8
T21	0	0	0	0	0



T210	0	0.8	0	0.6	1.4
T210A	0	0	0	0	0
T211	0	0	1.8	0.6	2.4
T212	0	0	0	0	0
T212A	0	0	0	0	0
T213	0.4	0	1.8	0	2.2
T213A	0	0	0	0	0
T214	0	0.8	0	0	0.8
T215	0	0	1.8	0	1.8
T215A	0	0	0	0	0
T216	0	0	1.8	0	1.8
T217	0	0	0	0	0
T218	0	0	0	0.6	0.6
T218A	0	0.8	0	0	0.8
T218B	0	0	1.8	0	1.8
T219	0	0	0	0	0
T22	0	0	0	0	0
T220	0	0	0	0	0
T220A	0	0	0	0.6	0.6
T221	0	0.8	1.8	0	2.6
T221A	0	0	0	0	0
T222	0.4	0	0	0	0.4
T223	0	0	0	0.6	0.6
T223A	0	0	1.8	0.6	2.4
T224	0	0	0	0	0
T225	0	0	1.8	0	1.8
T225A	0	0	0	0	0
T226	0	0	0	0	0
T227	0	0	0	0	0
T228	0.8	0	0	0	0.8
T229	0	0	1.8	0	1.8
T229A	0	0	1.8	0	1.8
T22A	0	0	1.8	0	1.8
T23	0	0	1.8	0	1.8
T230	0	0	0	0.6	0.6
T230A	0	0	0	0	0
T231	0	0	0	0	0
T232	0	0	0	0	0
T233	0	0	1.8	0	1.8
T234	0.4	0	0	0	0.4



T234A	0.4	0	0	0	0.4
T235	0.4	0	0	0	0.4
T235A	0	0	1.8	0	1.8
T235B	0	0	0	0	0
T237	0.8	0.8	0	0	1.6
T238	0	0	0	0	0
T238A	0	0.8	0	0	0.8
T239	0	0	0	0.6	0.6
T24	0	0.8	1.8	0.6	3.2
T240	0	0	0	0	0
T241	0	0	1.8	0	1.8
T241A	0	0	1.8	0	1.8
T242	0	1.6	0	0	1.6
T242A	0	0	1.8	0	1.8
T242B	0	0	1.8	0	1.8
T243	0	0	0	0	0
T244	0.8	0	0	0	0.8
T244A	0	0	0	0	0
T245	0.4	0	0	0.6	1
T245A	0	0	0	0	0
T246	0	0	0	0	0
T247	0.4	0.8	0	0	1.2
T247A	0	0	0	0	0
T247B	0	0	1.8	0	1.8
T25	0	0	1.8	0.6	2.4
T250	0.8	0	1.8	0	2.6
T2500	0	0	0	0	0
T251A	0	0.8	0	0	0.8
T252	0.4	0	0	0	0.4
T257	0	0	0	0	0
T258	0	0	0	0	0
T259	0	0	1.8	0	1.8
T259A	0	0	0	0	0
T26	0.4	0.8	0	0	1.2
T260	0	0.8	1.8	0	2.6
T260A	0	0	0	0	0
T261	0	0	0	0	0
T27	0.4	0	0	0	0.4
T272	0.4	0	0	0	0.4
T273	1.2	1.6	0	0	2.8



T274	0	0	1.8	0	1.8
T274A	0	1.6	1.8	0	3.4
T275	0	0	0	0	0
T276	0	0	0	0	0
T277	0.8	0	0	0	0.8
T278	0	0	1.8	0	1.8
T278A	0	0.8	0	0	0.8
T279	0.4	0	0	0	0.4
T279A	0	0.8	1.8	0	2.6
T28	0	0	1.8	0	1.8
T280	0.4	0.8	1.8	0	3
T280A	0	0	1.8	0	1.8
T281	0	0.8	1.8	0	2.6
T281A	0	0	0	0	0
T29	0.4	0	0	0	0.4
T3	0.4	0	0	0	0.4
T30	0.4	0	0	0	0.4
T30A	0	0.8	0	0.6	1.4
T31	0	0	0	0	0
T31A	0	1.6	1.8	0	3.4
T32	0	0	1.8	0	1.8
T33	0	0	0	0	0
T34	0	0	0	0	0
T34A	0	1.6	0	0	1.6
T35	0	0.8	0	0	0.8
T36	0.4	0	0	0	0.4
T36A	0.4	0	0	0	0.4
T37	0.4	0	1.8	0	2.2
T37A	1.2	0	0	0.6	1.8
T37B	0.4	0	0	0	0.4
T38	0.4	0	0	0	0.4
T39	0	0	0	0	0
T39A	0.8	0	0	0	0.8
T39B	0	0	0	0	0
T4	0	0	1.8	0	1.8
T40	0	0	0	0	0
T40A	0	0	1.8	0	1.8
T41	0	0	0	0.6	0.6
T42	0	0	1.8	0	1.8
T42A	0	0.8	0	0.6	1.4



T43	0	0	1.8	0	1.8
T44	0	0	0	0	0
T45	0.4	0	0	0.6	1
T46	1.2	0	0	0	1.2
T46A	0	0.8	0	0	0.8
T47	0	0	0	0	0
T48	0.4	0	0	0.6	1
T48A	0	0	0	0.6	0.6
T49	0.8	0	0	1.2	2
T4A	0	0	0	0	0
T4B	0	0	0	0.6	0.6
T5	0	0	0	0	0
T50	0	0	1.8	0	1.8
T51	0	0	0	0	0
T52	0	0	0	0.6	0.6
T52A	0	1.6	0	0	1.6
T53	0	0.8	0	0	0.8
T54	0	0	1.8	0	1.8
T55	0	0	0	0	0
T56	0	0	1.8	0	1.8
T56A	0	0	0	0	0
T57	0	0.8	0	0.6	1.4
T57A	0	0	0	0	0
T58	0	0	0	0	0
T59	0	0	0	0	0
T6	0	0	0	0	0
T60	1.2	0	0	0	1.2
T61	0.4	0	0	0	0.4
T62	0	0	1.8	0	1.8
T62A	0	0	0	0	0
T63	0	1.6	0	0	1.6
T63A	0	0	1.8	0	1.8
T64	0	0	0	0	0
T65	0	0	0	0.6	0.6
T66	0	0	0	0	0
T66A	0	0.8	1.8	0	2.6
T67	0	1.6	0	0	1.6
T68	0	0	0	0	0
T68A	0	0	1.8	0	1.8
T69	0	0	0	1.2	1.2



T6A	0.4	0.8	1.8	0	3
T7	0.8	0	0	0	0.8
T70	0	0	0	0	0
T71	0.8	0	0	0	0.8
T72	0	0	0	0.6	0.6
T73	0	0	0	0	0
T73B	0	0	1.8	0.6	2.4
T74	0	0	0	0	0
T75	0	0	0	0.6	0.6
T75A	0	0.8	0	0.6	1.4
T76	0	0	0	0	0
T77	0	0	0	0	0
T77A	0	0	1.8	0.6	2.4
T78	0	0.8	0	0	0.8
T79	0	0	0	1.2	1.2
T79B	0	0	0	0	0
T8	0	0	0	0	0
T80	0	0	1.8	0	1.8
T81	0	3.2	1.8	0	5
T82	0.4	1.6	0	0	2
T83	0	0	0	0	0
T83A	0.4	0	0	0	0.4
T84	0.4	0	1.8	0	2.2
T85	0	0	0	0	0
T85A	0	0	1.8	0	1.8
T86	0.4	0	0	0	0.4
T87	0	0	0	0	0
T87A	0	0	1.8	0	1.8
T88	0	0	0	0.6	0.6
T88A	0	0	1.8	0	1.8
T89	0	0.8	1.8	0	2.6
T89A	0	0	1.8	0	1.8
T9	0	0	0	0	0
T90	0	0	0	0	0
T90A	0	0	0	0	0
T91	0	0	0	0	0
T92	0	0	0	0.6	0.6
T93	0	0	1.8	0	1.8
T94	0	1.6	1.8	0	3.4
T94A	0	0	0	0	0



T95	0	0.8	0	0	0.8
T96	0	0.8	0	0	0.8
T96A	0	0.8	0	0	0.8
T97	0	0	1.8	0	1.8
T98	0	0.8	0	0	0.8
T99	0.4	0	0	0	0.4
TA1	0	0.8	0	0	0.8
TA2	0.4	0	0	0	0.4
TA3	0	0	1.8	0	1.8
TA5	0	0	1.8	0	1.8

Anexo 3**Puntos de Muestreo de medición de presiones en la red de la Zona Alta**

Número de muestra	Punto de muestreo	x	y
1	Vivienda Calle Ingapirca	739190,43	9697771,15
2	Vivienda Miguel Heredia y Oriente	739865,64	9696883,53
3	Vivienda Calle Miguel Heredia y Carlos Aguilar Vásquez	739928,61	9697050,73
4	Vivienda Carlos Aguilar V. y Coronel Francisco Carrasco	739838,48	9697117,25
5	Vivienda Guayas y Antonio José de Sucre	739660,79	9697119,28
6	Vivienda Aurelio Jaramillo y José Joaquín de Olmedo	739571,64	9696545,42
7	Vivienda Vía Luis Cordero	740418,76	9697015,4
8	Vivienda Calle Atahualpa y Piscar Cápac	739713,65	9696763,51
9	Vivienda Eugeni Espejo y Av. Rumiñahui	739698,49	9696521,72
10	Vivienda Jaime Vélez	739931,79	9696570,17
11	Vivienda Luis Roberto B.	739731,84	9697615,94
12	Vivienda Avenida de los Cañarís y Bartolomé Serrano	739981,9	9697402,55
13	Vivienda Calle Miguel Heredia	740050,27	9697130,38
14	Vivienda Vía Luis Cordero	739645,18	9697186,69
15	Vivienda 4 de noviembre y Av. La Virgen	739709,54	9696853,32
16	Mecánica Vía Oriente entre Ignacio de Vintimilla y Azuay	739576,79	9696280,85
17	Vivienda Calle del Estadio y Galo Plaza Lazo	739659,11	9695969,33
18	Vivienda Vía Oriente y Azuay	739583,52	9697301,7
19	Vivienda Bartolomé Serrano y Coronel Francisco Carrasco	739846,45	9697284,7
20	Vivienda Los Olivos y Luis Bravo Gonzales	739745,49	9697432,73

Anexo 4a**Puntos de muestreo de medición de cloro residual en toda la red de la ciudad de Azogues**

Número de muestra	Punto de muestreo	X	Y	Z (m)
1	Vivienda Chiturco	736109	9687731	2458
2	Vivienda Javier Loyola	737052	9690518	2447
3	Vivienda Charasol	739090	9693092	2454
4	Ciudadela del Chofer	739517	9695490	2482
5	Vivienda Cementerio	739622	9696119	2485
6	Vivienda Sector la Policía	739294	9696354	2496
7	Vivienda Hermano Miguel	739425	9695611	2472
8	Vivienda Andrés F Córdova	739062	9696154	2464
9	Vivienda sector Emilio Abad	739519	9696925	2524
10	Vivienda 5 Esquinas	739345	9697363	2515
11	Vivienda Bosque Azul	739729	9697566	2544
12	Tanque Principal	739716	9697727	2599
13	Tanque Zona Alta	739895	9698060	2651
14	Vivienda Sector Santa Bárbara	739839	9697281	2473
15	Vivienda Avenida Rumiñahui	739701	9696531	2562
16	Vivienda Av. Gonzalo Suarez	740302	9696512	2522
17	Vivienda Luis Cordero	740423	9696795	2547
18	Vivienda sector Calvario	740075	9696830	2591
19	Tanque Juan Montalvo	739601	9696397	2554
20	Tanque Zhapacal	740270	9695558	2591
21	Tanque Toctesol	739736	9693152	2549
22	Tanque Zhigzhiquin	738148	9696892	2617
23	Vivienda Sector la Autopista	738713	9696944	2529
24	Reserva Chavay	738693	9693838	2520
25	Vivienda Sector Bellavista	738159	9693563	2489
26	Vivienda Sector Tenemaza	739248	9696821	2526
27	Vivienda Sector Chacapamba	738271	9698280	2489
28	Vivienda Miguel Heredia	740197	9697291	2828
29	Vivienda Primero de Mayo	740191	9698176	2643
30	Planta Maguarcay	740770	9699918	2797

Anexo 4b**Puntos de Muestreo de medición de cloro residual en la red de la Zona Alta**

Número de muestra	Punto de muestreo	X	Y	Z (m)
1	Vivienda 4 de Noviembre y Oriente	739629	9697137	2547
2	Vivienda Vía Oriente y Azuay	739574	9697334	2538
3	Vivienda Miguel Heredia y Oriente	739855	9696894	2579
4	Vivienda Calle Miguel Heredia y Carlos Aguilar Vásquez	739919	9697046	2587
5	Vivienda Avenida de los Cañaris y Bartolomé Serrano	740014	9697318	2586
6	Vivienda Carlos Aguilar V. y Coronel Francisco Carrasco	739819	9697145	2171
7	Vivienda Guayas y 4 de Noviembre	739662	9697103	2549
8	Vivienda Calle Atahualpa y Piscar Capac	739666	9696741	2545
9	Vivienda Aurelio Jaramillo y José Joaquín de Olmedo	739568	9696553	2528
10	Vivienda Av. Rumiñahui y Segundo Méndez	739772	9696258	2503
11	Local Comercial Calle José María Urbina	739729	9697566	2544
12	Vivienda Luis Roberto B.	739662	9697597	2549
13	Local Comercial Santa Bárbara	739839	9689781	2473
14	Vivienda Eugeni Espejo y Av. Rumiñahui	739700	9696511	2522
15	Avenida Gonzales Suarez	740302	9696512	2522
16	Vivienda Vía Luis Cordero	740360	9696936	2570
17	Vivienda Calle Ingapirca	739146	9697927	2544
18	Vivienda Los Olivos y Luis Bravo Gonzales	739751	9697453	2549
19	Vivienda Guayas y Antonio José de Sucre	739561	9697053	2535
20	Vivienda Jaime Vélez	739929	969656	2553

Anexo 5

Fotografías de muestreos y mediciones

Fotografías de muestreos y mediciones

Toma de muestras en los tanques de absatecimiento



Toma de muestras en los grifos de los usuarios



Medición de cloro residual in situ de las muestras



Medición de cloro residual de las muestras en el laboratorio



Grupo de trabajo para toma de muestras y mediciones





Anexo 6

Calculo de las demandas totales en la red de la Zona Alta

ID del nodo	Predios de bajo consumo				Predios de alto consumo				DT _n
	P	H	Q _{dh}	Db _n	P	H	Q _{dh}	D _{an}	
A10	4	4	324	0.06					0.06
A11	1	4	324	0.015					0.015
A12	1	4	324	0.015					0.015
A14	4	4	324	0.06					0.06
A16	1	4	324	0.015					0.015
A17	5	4	324	0.075					0.075
A19	3	4	324	0.045					0.045
A21	2	4	324	0.03					0.03
A23	4	4	324	0.06					0.06
A28	3	4	324	0.045					0.045
A37					1	1200	80	1.11	1.11
A45	2	4	324	0.03					0.03
A48	1	4	324	0.015					0.015
A54	6	4	324	0.09					0.09
A58	1	4	324	0.015					0.015
A8	5	4	324	0.075					0.075
A9	5	4	324	0.075					0.075
J-145	5	4	324	0.075					0.075
J-149	4	4	324	0.06					0.06
J-154	1	4	324	0.015					0.015
J-165	3	4	324	0.045					0.045
J-175	2	4	324	0.03					0.03
J-177	2	4	324	0.03					0.03
J-178					1	2500	30	0.868	0.868
J-188	5	4	324	0.075					0.075
J-191	5	4	324	0.075					0.075
J-195	9	4	324	0.135					0.135
J-197	1	4	324	0.015					0.015
J-2	3	4	324	0.045					0.045
J-206	8	4	324	0.12					0.12
J-207	3	4	324	0.045					0.045
J-211	2	4	324	0.03					0.03
J-217	2	4	324	0.03					0.03
J-220	3	4	324	0.045					0.045
J-228	6	4	324	0.09					0.09
J-230	4	4	324	0.06					0.06
J-234	3	4	324	0.045					0.045



J-244	4	4	324	0.06					0.06
J-248	2	4	324	0.03					0.03
J-251	1	4	324	0.015					0.015
J-252	7	4	324	0.105					0.105
J-254	3	4	324	0.045					0.045
J-263	4	4	324	0.06					0.06
J-269	5	4	324	0.075					0.075
J-274	5	4	324	0.075					0.075
J-288	11	4	324	0.165					0.165
J-290	11	4	324	0.165					0.165
J-297	10	4	324	0.15					0.15
J-303	6	4	324	0.09					0.09
J-312	3	4	324	0.045					0.045
J-315	1	4	324	0.015					0.015
J-317	1	4	324	0.015					0.015
J-320	1	4	324	0.015					0.015
J-323	6	4	324	0.09					0.09
J-327	10	4	324	0.15					0.15
J-340	14	4	324	0.21					0.21
J-374	4	4	324	0.06					0.06
J-377	5	4	324	0.075					0.075
J-379	2	4	324	0.03					0.03
J-4	3	4	324	0.045					0.045
N1	4	4	324	0.06					0.06
N10	6	4	324	0.09					0.09
N100	6	4	324	0.09					0.09
N101	5	4	324	0.075					0.075
N103	7	4	324	0.105					0.105
N104	5	4	324	0.075					0.075
N105	4	4	324	0.06					0.06
N106	6	4	324	0.09					0.09
N107	8	4	324	0.12					0.12
N108	5	4	324	0.075					0.075
N11	4	4	324	0.06					0.06
N110	3	4	324	0.045					0.045
N111	4	4	324	0.06					0.06
N112	3	4	324	0.045					0.045
N114	3	4	324	0.045					0.045
N115	2	4	324	0.03					0.03
N116	3	4	324	0.045					0.045
N117	4	4	324	0.06					0.06
N118	3	4	324	0.045					0.045



N119	7	4	324	0.105					0.105
N12	5	4	324	0.075					0.075
N121	1	4	324	0.015					0.015
N122	2	4	324	0.03					0.03
N123	3	4	324	0.045					0.045
N124	2	4	324	0.03					0.03
N126	4	4	324	0.06					0.06
N127	3	4	324	0.045					0.045
N128	3	4	324	0.045					0.045
N129	4	4	324	0.06					0.06
N13	4	4	324	0.06					0.06
N130	3	4	324	0.045					0.045
N131	3	4	324	0.045					0.045
N133	2	4	324	0.03					0.03
N134	2	4	324	0.03					0.03
N135	1	4	324	0.015					0.015
N136	2	4	324	0.03					0.03
N137	3	4	324	0.045					0.045
N138	4	4	324	0.06					0.06
N139	3	4	324	0.045					0.045
N14	1	4	324	0.015					0.015
N140	2	4	324	0.03					0.03
N141	5	4	324	0.075					0.075
N142	5	4	324	0.075					0.075
N143	8	4	324	0.12					0.12
N144	3	4	324	0.045					0.045
N145	7	4	324	0.105					0.105
N146	6	4	324	0.09					0.09
N147	20	4	324	0.3					0.3
N148	9	4	324	0.135					0.135
N149	5	4	324	0.075					0.075
N150	10	4	324	0.15					0.15
N151	3	4	324	0.045					0.045
N153	3	4	324	0.045					0.045
N154	4	4	324	0.06					0.06
N155	1	4	324	0.015					0.015
N157	6	4	324	0.09					0.09
N158	3	4	324	0.045					0.045
N159	2	4	324	0.03					0.030
N16	9	4	324	0.135					0.135
N160	9	4	324	0.135					0.135
N161	3	4	324	0.045					0.045



N162	3	4	324	0.045					0.045
N163					1	700	80	0.648	0.648
N164	4	4	324	0.06					0.06
N165	9	4	324	0.135					0.135
N166	4	4	324	0.06					0.06
N167	5	4	324	0.075					0.075
N168	6	4	324	0.09					0.09
N169	11	4	324	0.165					0.165
N17	13	4	324	0.195					0.195
N170	6	4	324	0.09					0.09
N171	1	4	324	0.015					0.015
N173	7	4	324	0.105					0.105
N174	2	4	324	0.03					0.03
N175	7	4	324	0.105					0.105
N176	2	4	324	0.03					0.03
N179	6	4	324	0.09					0.09
N18	12	4	324	0.18					0.18
N180	3	4	324	0.045					0.045
N181	5	4	324	0.075					0.075
N183	3	4	324	0.045					0.045
N184	1	4	324	0.015					0.015
N185					1	30	324	0.113	0.113
N186	8	4	324	0.12					0.12
N187	2	4	324	0.03					0.03
N188	3	4	324	0.045					0.045
N189	2	4	324	0.03					0.03
N19	3	4	324	0.045					0.045
N190	4	4	324	0.06					0.06
N191	12	4	324	0.18					0.18
N192	16	4	324	0.24					0.24
N193	3	4	324	0.045					0.045
N194	4	4	324	0.06					0.06
N195	6	4	324	0.09					0.09
N196	9	4	324	0.135					0.135
N197	8	4	324	0.12					0.12
N198	15	4	324	0.225					0.225
N20	6	4	324	0.09					0.09
N200	5	4	324	0.075					0.075
N201	7	4	324	0.105					0.105
N202	15	4	324	0.225					0.225
N203	16	4	324	0.24					0.24
N204	11	4	324	0.165					0.165



N205	7	4	324	0.105					0.105
N206	6	4	324	0.09					0.09
N207	5	4	324	0.075					0.075
N208	4	4	324	0.06					0.06
N209	4	4	324	0.06					0.06
N21	8	4	324	0.12					0.12
N210	7	4	324	0.105					0.105
N211	4	4	324	0.06					0.06
N212	2	4	324	0.03					0.03
N213	6	4	324	0.09					0.09
N214	11	4	324	0.165					0.165
N215	4	4	324	0.06					0.06
N216	1	4	324	0.015					0.015
N217	3	4	324	0.045					0.045
N218	11	4	324	0.165					0.165
N219	3	4	324	0.045					0.045
N22	6	4	324	0.09					0.09
N220	1	4	324	0.015					0.015
N221	6	4	324	0.09					0.09
N222	2	4	324	0.03					0.03
N223	1	4	324	0.015					0.015
N224	4	4	324	0.06					0.06
N225	2	4	324	0.03					0.03
N226	4	4	324	0.06					0.06
N227	6	4	324	0.09					0.09
N228	8	4	324	0.12					0.12
N229	19	4	324	0.285					0.285
N23	3	4	324	0.045					0.045
N230	16	4	324	0.24					0.24
N231	6	4	324	0.09					0.09
N232	11	4	324	0.165					0.165
N233	2	4	324	0.03					0.03
N234	10	4	324	0.15					0.15
N235	9	4	324	0.135					0.135
N236	15	4	324	0.225					0.225
N238	11	4	324	0.165					0.165
N239	15	4	324	0.225					0.225
N24	12	4	324	0.18					0.18
N240	1	4	324	0.015					0.015
N241	12	4	324	0.18					0.18
N242	3	4	324	0.045					0.045
N243	2	4	324	0.03					0.03



N247	4	4	324	0.06					0.06
N249	4	4	324	0.06					0.06
N25	11	4	324	0.165					0.165
N252	10	4	324	0.15					0.15
N257	9	4	324	0.135					0.135
N258	6	4	324	0.09					0.09
N259	8	4	324	0.12					0.12
N26	3	4	324	0.045					0.045
N260	5	4	324	0.075					0.075
N261	2	4	324	0.03					0.03
N262	2	4	324	0.03					0.03
N27	3	4	324	0.045					0.045
N270	1	4	324	0.015					0.015
N273	8	4	324	0.12					0.12
N274	13	4	324	0.195					0.195
N275	9	4	324	0.135					0.135
N276	6	4	324	0.09					0.09
N277	15	4	324	0.225	1	1500	80	1.389	1.614
N278	25	4	324	0.375					0.375
N279	12	4	324	0.18					0.18
N28	11	4	324	0.165					0.165
N280	5	4	324	0.075					0.075
N281	9	4	324	0.135					0.135
N282	1	4	324	0.015					0.015
N29	4	4	324	0.06					0.06
N3	0	4	324	0					0
N31	3	4	324	0.045					0.045
N32	7	4	324	0.105	1	20	100	0.023	0.128
N33	5	4	324	0.075					0.075
N34	9	4	324	0.135					0.135
N35	4	4	324	0.06					0.06
N36	7	4	324	0.105					0.105
N37	4	4	324	0.06					0.06
N38	3	4	324	0.045					0.045
N39	2	4	324	0.03					0.03
N40	5	4	324	0.075					0.075
N41	9	4	324	0.135					0.135
N42	4	4	324	0.06					0.06
N43	7	4	324	0.105					0.105
N44	6	4	324	0.09					0.09
N45	3	4	324	0.045					0.045
N46	1	4	324	0.015					0.015






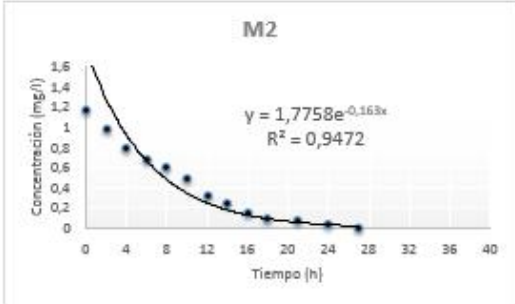
N47	5	4	324	0.075					0.075
N48	4	4	324	0.06					0.06
N5	1	4	324	0.015					0.015
N50	3	4	324	0.045					0.045
N51	4	4	324	0.06					0.06
N53	4	4	324	0.06					0.06
N54	3	4	324	0.045					0.045
N56	2	4	324	0.03					0.03
N57	3	4	324	0.045					0.045
N58	3	4	324	0.045					0.045
N59	7	4	324	0.105					0.105
N6	4	4	324	0.06					0.06
N61	6	4	324	0.09					0.09
N62	7	4	324	0.105					0.105
N63	6	4	324	0.09					0.09
N65	4	4	324	0.06					0.06
N66	6	4	324	0.09					0.09
N67	9	4	324	0.135					0.135
N68	8	4	324	0.12					0.12
N69	1	4	324	0.015					0.015
N7	4	4	324	0.06					0.06
N70	4	4	324	0.06					0.06
N71	5	4	324	0.075					0.075
N72	9	4	324	0.135					0.135
N74	8	4	324	0.12					0.12
N75	7	4	324	0.105					0.105
N76	6	4	324	0.09					0.09
N77	5	4	324	0.075					0.075
N78	4	4	324	0.06					0.06
N79	1	4	324	0.015					0.015
N80	7	4	324	0.105					0.105
N81	5	4	324	0.075					0.075
N82	2	4	324	0.03					0.03
N83	7	4	324	0.105					0.105
N84	3	4	324	0.045					0.045
N85	6	4	324	0.09					0.09
N86	10	4	324	0.15					0.15
N87	2	4	324	0.03					0.03
N9	2	4	324	0.03					0.03
N90	9	4	324	0.135					0.135
N91	4	4	324	0.06					0.06
N92	6	4	324	0.09					0.09




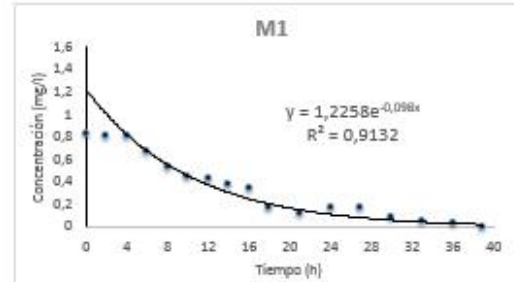





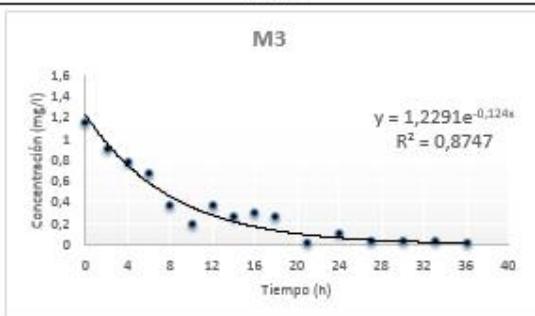
N93	5	4	324	0.075					0.075
N94	7	4	324	0.105					0.105
N95	3	4	324	0.045					0.045
N96	5	4	324	0.075					0.075
N97	5	4	324	0.075					0.075
N98	3	4	324	0.045					0.045
N99	3	4	324	0.045					0.045
NA10	9	4	324	0.135					0.135
NA11	6	4	324	0.09					0.09
NA12	19	4	324	0.285					0.285
NA14	2	4	324	0.03					0.03
Total				23.76				4.15	27.91




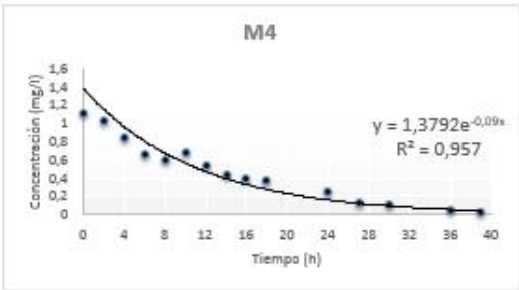
Anexo 7




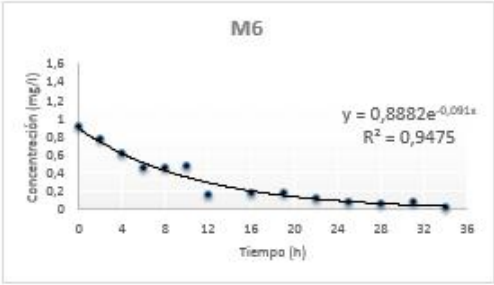
Formato de fichas de muestreo mes de Julio


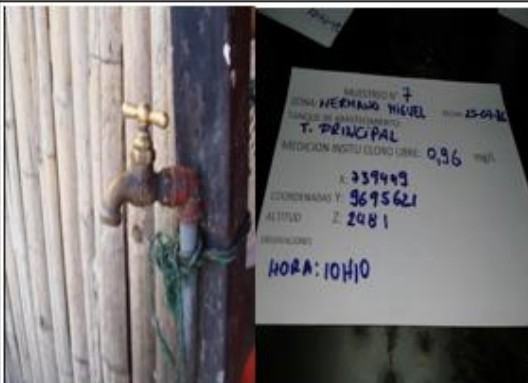

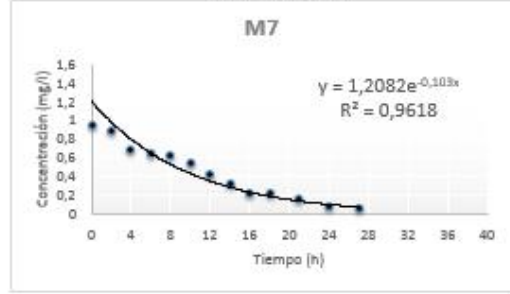
Fecha	Ubicación en UTM (Zona 17 M)	N° de muestra	M2
25/07/2016	E= 737022, S= 9690529 Z= 2383	Zona	Chuquipata
		Punto de muestreo	Vivienda
		Tanque de abastecimiento	Tanque Toctesol
		Medición insitu de cloro	1,17 mg/l
		Temp agua	15 °C
		Clima	Parcialmente despejado
Ubicación			
		Vivienda	
Punto de muestro			
		kb	0,163
Curva de decaimiento de cloro por reacción con el agua		h ⁻¹	

Fecha	Ubicación en UTM (Zona 17 M)	N° de muestra	M1	
25/07/2016	E = 736109, S = 9687731 Z = 2458	Zona	Chiturco	
		Punto de muestreo	Vivienda	
		Tanque de abastecimiento	Tanque de Corte	
		Medición insitu de cloro	0,83 mg/l	
		Temp agua	15 °C	
		Clima	Parcialmente despejado	
Ubicación				
				
Punto de muestro		kb	0,098	h ⁻¹
Curva de decaimiento de cloro por reacción con el agua				




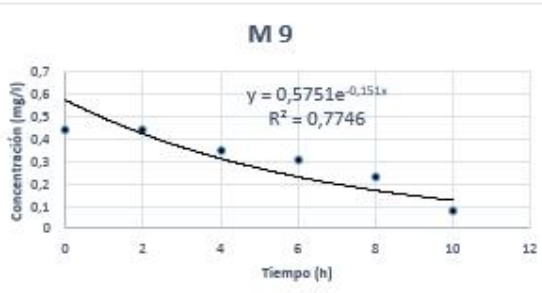
Fecha	Ubicación en UTM (Zona 17 M)	N° de muestra	M3
25/07/2016	E= 739090, S= 9693092 Z=2424	Zona	Charasol
	Ubicación	Punto de muestreo	Vivienda
		Tanque de abastecimiento	Tanque Toctesol
		cloro libre (mg/l)	1,16
		Temp agua	15 °C
		Clima	Parcialmente despejado
			
		Vivienda	
	Punto de muestro		
		kb	0,124
Punto de muestro		Curva de decaimiento de cloro por reacción con el agua	




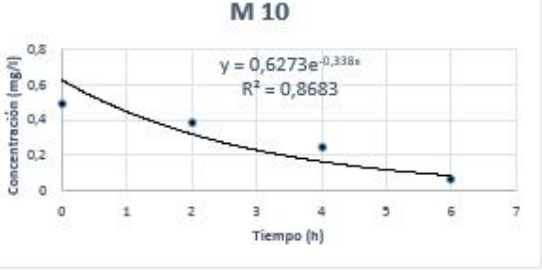
Fecha	Ubicación en UTM (Zona 17 M)	N° de muestra	M4	
25/07/2016	E= 739517, S= 9695490 Z= 2482	Zona	Cdla. Del Chofer	
	Ubicación	Punto de muestreo	Vivienda	
		Tanque de abastecimiento	Tanque Toctesol	
		Medición insitu de cloro	1,10 mg/l	
		Temp agua	15 °C	
		Clima	Parcialmente despejado	
	Punto de muestro			
		Vivienda		
				
		kb	0,09	h ⁻¹
Curva de decaimiento de cloro por reacción con el agua				




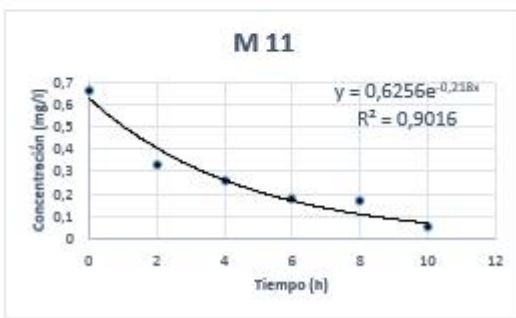
Fecha	Ubicación en UTM (Zona 17 M)	N° de muestra	M6
25/07/2016	E= 739294, S = 9696354 Z= 2496	Zona	Sector La Policía
		Punto de muestreo	Local comercial
		Tanque de abastecimiento	Tanque Juan Montalvo
		Medición insitu de cloro	0,92 mg/l
		Temp agua	15 °C
		Clima	Parcialmente despejado
			
Ubicación		Local comercial	
			
		kb	0,091
			h ⁻¹
Punto de muestro		Curva de decaimiento de cloro por reacción con el agua	




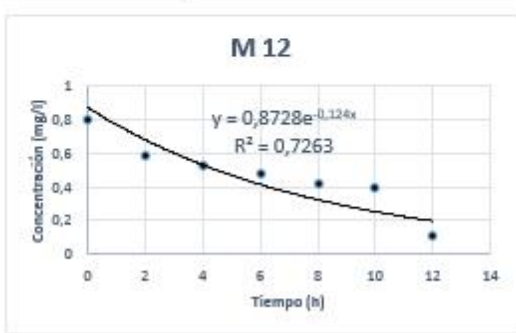
Fecha	Ubicación en UTM (Zona 17 M)	N° de muestra	M7
25/07/2016	E= 739425, S = 9695611 Z= 2481	Zona	Hno. Miguel
		Punto de muestreo	Taller
		Tanque de abastecimiento	Tanque Zona Principal
		Medición insitu de cloro	0,96 mg/l
		Temp agua	15 °C
		Clima	Parcialmente despejado
			
Ubicación		Taller mecánico	
			
		kb	0,103
			h ⁻¹
Punto de muestro		Curva de decaimiento de cloro por reacción con el agua	




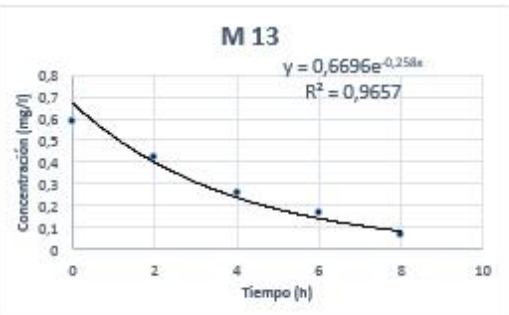
Formato fichas de muestreo mes de Agosto




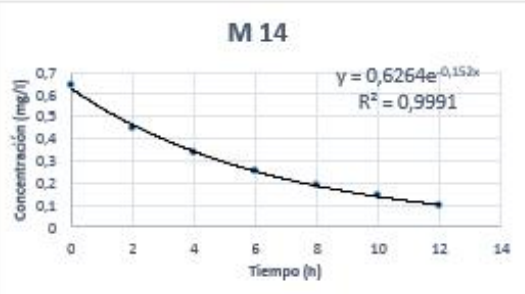
Fecha	Ubicación en UTM (Zona 17 M)	N° de muestra	M9
16/08/2016	E= 739504, N= 9696971 Z= 2524	Zona	Principal
		Punto de muestreo	Tienda- 3 de Noviembre
		Tanque de abastecimiento	Tanque Zona Principal
		Medición insitu de cloro	0,44 mg/l
		Temp agua	15 °C
		Clima	Parcialmente despejado
Ubicación			
		Local comercial	
Muestra in situ			
		kb	0,151 h ⁻¹
		Curva de decaimiento de cloro por reacción con el agua	

Fecha	Ubicación en UTM (Zona 17 M)	N° de muestra	M10
16/08/2016	E= 739345, N= 9697363 Z= 2515	Zona	Principal
		Punto de muestreo	Local comercial- 5 esquinas
		Tanque de abastecimiento	Tanque Zona principal
		Medición insitu de cloro	0,49 mg/l
		Temp agua	15 °C
		Clima	Parcialmente despejado
Ubicación			
		Grifo	
Muestra in situ			
		kb	0,338 h ⁻¹
		Curva de decaimiento de cloro por reacción con el agua	




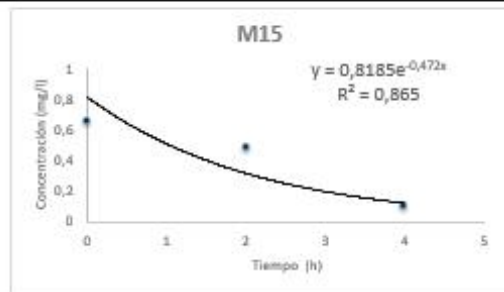
Fecha	Ubicación en UTM (Zona 17 M)	N° de muestra	11
16/08/2016	E = 739729, S = 9697566 Z= 2544	Zona	Bosque Azul
	Punto de muestreo	Vivienda	
	Tanque de abastecimiento	Tanque de la Zona Alta	
	Medición insitu de cloro	0,66 mg/l	
	Temp agua	15 °C	
	Clima	Parcialmente despejado	
			
Mapa con la ubicación		Grifo	
			
Muestra in situ		kb	0.218 h ⁻¹
Gráfica del muestreo			




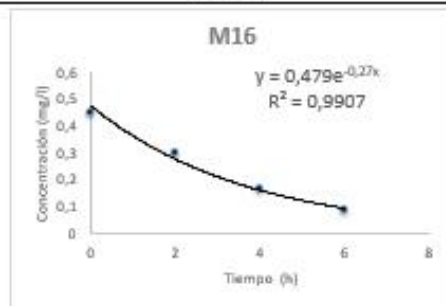
Fecha	Ubicación en UTM (Zona 17 M)	N° de muestra	12
16/08/2016	E = 739716, S = 9697727 Z= 2599	Zona	
		Punto de muestreo	Tanque Principal
		Tanque de abastecimiento	Repartidor de Caudales
		Medición insitu de cloro	0,8 mg/l
		Temp agua	15 °C
		Clima	Parcialmente despejado
			
Mapa con la ubicación		Tanque de abastecimiento	
			
Foto de la muestra (in-situ)		kb	0.124 h ⁻¹
Gráfica del muestreo			




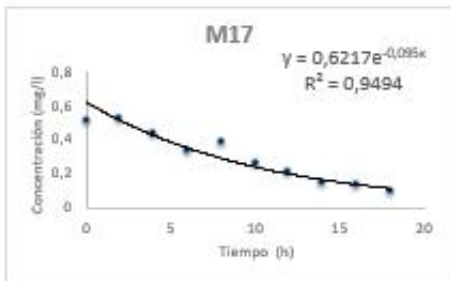
Fecha	Ubicación en UTM (Zona 17 M)	N° de muestra	
16/08/2016	E = 739895, S = 9698060 Z= 2651	Zona	Uchupucun
		Punto de muestreo	Tanque Zona Alta
		Tanque de abastecimiento	Repartidor de Caudales
		Medición insitu de cloro	0,59 mg/l
		Temp agua	15 °C
		Clima	Parcialmente despejado
			
			
Foto de la muestra (in-situ)		$y = 0,6696e^{-0,258x}$ $R^2 = 0,9657$ kb 0.258 h⁻¹	




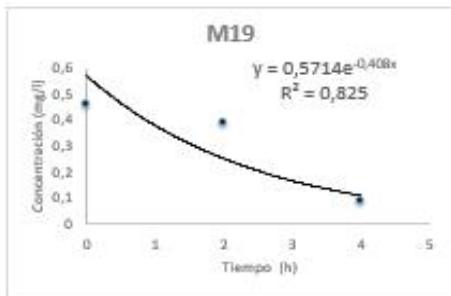
Fecha	Ubicación en UTM (Zona 17 M)	N° de muestra	
16/08/2016	E = 739839, S = 9689781 Z= 2473	Zona	Santa Barbara
		Punto de muestreo	Vivienda
		Tanque de abastecimiento	Tanque Zona Alta
		Medición insitu de cloro	0,64 mg/l
		Temp agua	15 °C
		Clima	Parcialmente despejado
			
			
Foto de la muestra (in-situ)		$y = 0,6264e^{-0,152x}$ $R^2 = 0,9991$ kb 0.152 h⁻¹	




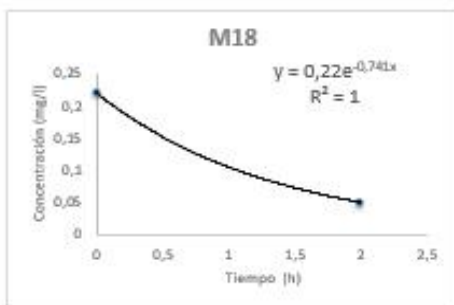
Formato Fichas mes de Septiembre


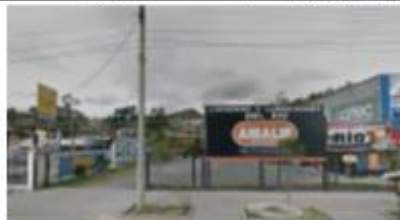

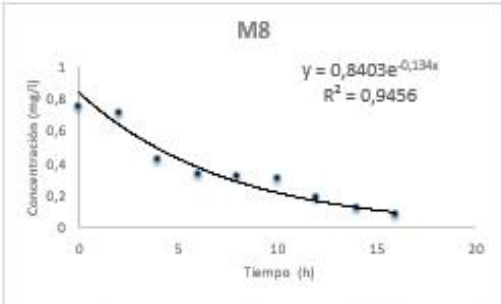
Fecha	Ubicación en UTM (Zona 17 M)	N° de muestra	M15
15/09/2016	E = 739701, S = 9696531 Z= 25632	Zona	Av. Rumiñahui
		Punto de muestreo	Vivienda
		Tanque de abastecimiento	tanque Zona Alta
		Medición insitu de cloro	0,66 mg/l
		Temp agua	15 °C
		Clima	Parcialmente despejado
			
Mapa con la ubicación		Vivienda	
			
Punto de muestro	kb	0,472	h ⁻¹

Fecha	Ubicación en UTM (Zona 17 M)	N° de muestra	M16	
15/09/2016	(17M) E = 740302, S = 9696512 Z= 2522	Zona	Av. Gonzales Suarez	
		Punto de muestreo	Vivienda	
		Tanque de abastecimiento	Tanque Zona Alta	
		Medición insitu de cloro	0,45 mg/l	
		Temp agua	15 °C	
		Clima	Parcialmente despejado	
				
Mapa con la ubicación		Vivienda		
				
Punto de muestro		kb	0,27	h⁻¹
		Curva de decaimiento de cloro por reacción con el agua		




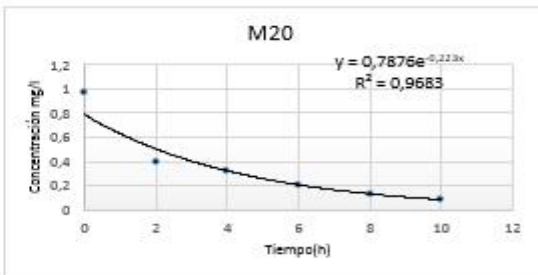
Fecha	Ubicación en UTM (Zona 17 M)	N° de muestra	M17
15/09/2016	E = 740423, S = 9696795 Z= 2547	Zona	Via Luis Cordero
		Punto de muestreo	Vivienda
		tanque de abastecimiento	Tanque Zona Alta
		Medición insitu de clor	0,51 mg/l
		Temp agua	15 °C
		Clima	Parcialmente despejado
Mapa con la ubicación			
			
Punto de muestreo		kb	0,094 h ⁻¹
Curva de decaimiento de cloro por reacción con el agua			




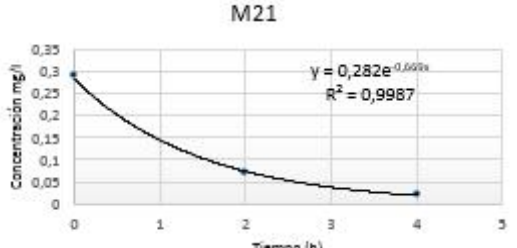
Fecha	Ubicación en UTM (Zona 17 M)	N° de muestra	M19
15/09/2016	E = 739601, S = 9696397 Z= 2554	Zona	Juan Montalvo
		Punto de muestreo	Tanque Juan Montalvo
		tanque de abastecimiento	Repartidor de Caudales
		Medición insitu de clor	0,46 mg/l
		Temp agua	15 °C
		Clima	Parcialmente despejado
Mapa con la ubicación			
			
Punto de muestreo		kb	0,408 h ⁻¹
Curva de decaimiento de cloro por reacción con el agua			




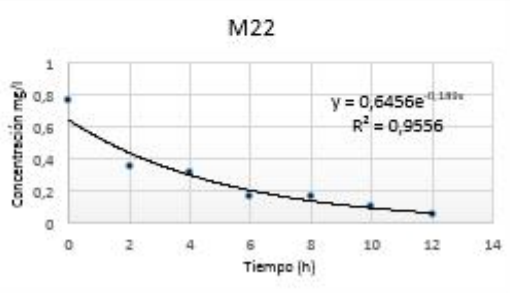
Fecha	Ubicación en UTM (Zona 17 M)	N° de muestra	M18
15/09/2016	E = 740075, S = 9696830 Z= 2591	Zona	Calvario
		Punto de muestreo	Vivienda
		Tanque de abastecimiento	Tanque de Maguarcay
		Medición insitu de cloro	0,22 mg/l
		Temp agua	15 °C
		Clima	Parcialmente despejado
			
Mapa con la ubicación		Vivienda	
			
		kb	0.741 h ⁻¹
Punto de muestro		Curva de decaimiento de cloro por reacción con el agua	

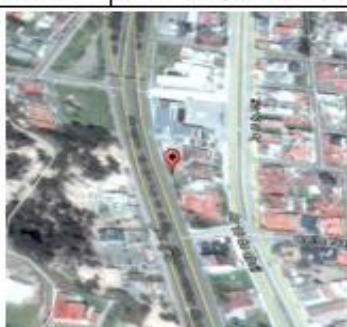


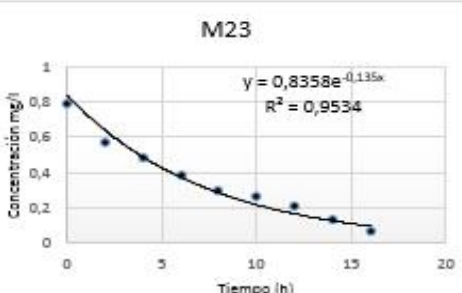
Fecha	Ubicación en UTM (Zona 17 M)	N° de muestra	M8
15/09/2016	E= 739052, S = 9696157 Z=2464	Zona	A. F Córdoba
	Ubicación	Punto de muestreo	Lavadora autos
		Tanque de abastecimiento	Tanque Zona Principal
		Medición insitu de cloro	0.76 mg/l
		Temp agua	15 °C
		Clima	Parcialmente despejado
			
		Lavadora de autos	
	Punto de muestro		
		kb	0.134
		Curva de decaimiento de cloro por reacción con el agua	





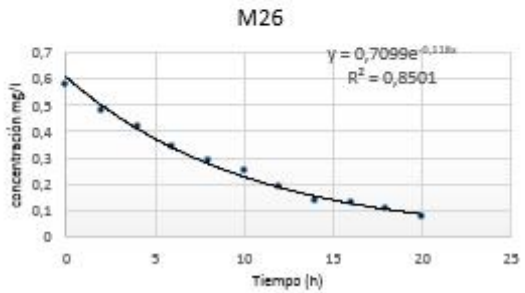
Formato fichas muestreo mes de Enero


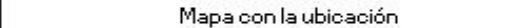


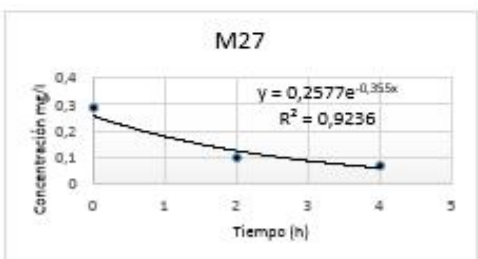
Fecha	Ubicación en UTM (Zona 17 M)	N° de muestra	20
18/01/2017	E = 740270 S = 9695558 Z= 2591	Zona	Zhapacal
		Punto de muestreo	Tanque Zhapacal
		Tanque de abastecimiento	Distribuidor de Caudales
		Medición insitu de cloro	0,97 mg/l
		Temp agua	15 °C
		Clima	Parcialmente despejado
			
Mapa con la ubicación		Tanque de abastecimiento	
			
Foto de la muestra (in-situ)		kb	0,223 h⁻¹
		Gráfica del muestreo	

Fecha	Ubicación en UTM (Zona 17 M)	N° de muestra	21	
18/01/2017	E = 739736, S = 9693152 Z= 2549	Zona	Toctesol	
		Punto de muestreo	Tanque Toctesol	
		Tanque de abastecimiento	Distribuidor de caudales	
		Medición insitu de cloro	0,29 mg/l	
		Temp agua	15 °C	
		Clima	Parcialmente despejado	
				
Mapa con la ubicación		Tanque de abastecimiento		
				
Foto de la muestra (in-situ)		kb	0,669 h-1	
		Gráfica del muestreo		




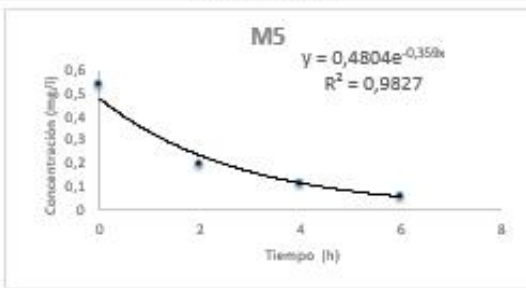
Fecha	Ubicación en UTM (Zona 17 M)	N° de muestra	22
18/01/2017	E = 738148, S = 9696892 Z= 2617	Zona	Zhigzhiquin
 <p>Mapa con la ubicación</p>		Punto de muestreo	Tanque de zhigzhiquin
		Tanque de abastecimiento	Distribuidor de Caudales
		Medición insitu de cloro	0,77 mg/l
		Temp agua	15 °C
		Clima	Parcialmente despejado
		 <p>Tanque de abastecimiento</p>	
 <p>Foto de la muestra (in-situ)</p>		 <p>M22</p> $y = 0,6456e^{-0,189x}$ $R^2 = 0,9556$	
		kb	0,189 h ⁻¹
		Gráfica del muestreo	




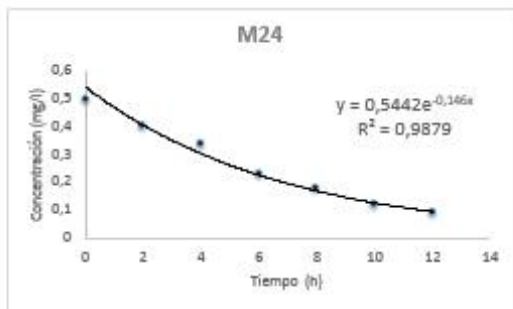
Fecha	Ubicación en UTM (Zona 17 M)	N° de muestra	23
18/01/2017	E = 738713, S = 9696944 Z= 2529	Zona	Autopista
 <p>Mapa con la ubicación</p>		Punto de muestreo	Vivienda
		Tanque de abastecimiento	Tanque Zhigzhiquin
		Medición insitu de cloro	0,79 mg/l
		Temp agua	15 °C
		Clima	Parcialmente despejado
		 <p>Vivienda</p>	
 <p>Foto de la muestra (in-situ)</p>		 <p>M23</p> $y = 0,8358e^{-0,135x}$ $R^2 = 0,9534$	
		kb	0,135 h ⁻¹
		Gráfica del muestreo	



Fecha	Ubicación en UTM (Zona 17 M)	N° de muestra	
18/01/2017	E = 739374, S = 9696831 Z= 2507	Zona	Tenemaza
		Punto de muestreo	Vivienda
		Tanque de abastecimiento	Tanque Principal
		Medición insitu de cloro	0,58 mg/l
		Temp agua	15 °C
		Clima	Parcialmente despejado
			
			
Foto de la muestra (in-situ)		kb	0,118 h ⁻¹
		Gráfica del muestreo	



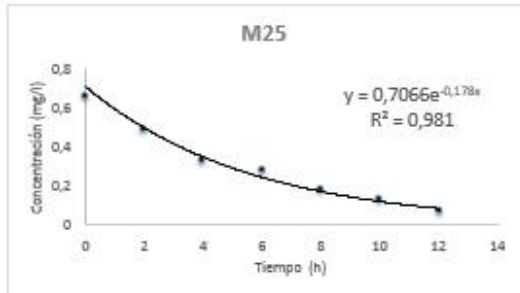
Fecha	Ubicación en UTM (Zona 17 M)	N° de muestra	
18/01/2017	E = 738271, S = 9698280 Z= 2489	Zona	Chacapamba
		Punto de muestreo	Vivienda
		Tanque de abastecimiento	Tanque Principal
		Medición insitu de cloro	0,29 mg/l
		Temp agua	15 °C
		Clima	Parcialmente despejado
			
			
Foto de la muestra (in-situ)		kb	0,335 h ⁻¹
		Gráfica del muestreo	




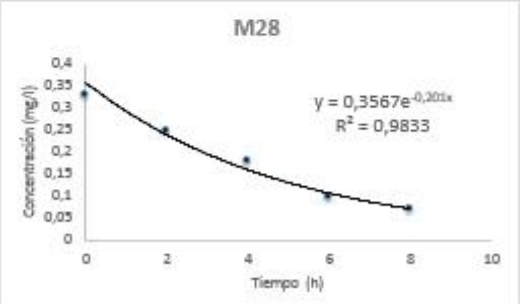
Fichas muestreo mes de Febrero





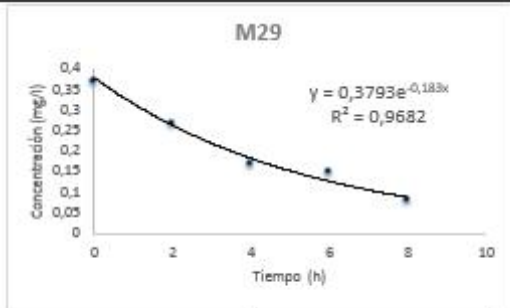



Fecha	Ubicación en UTM (Zona 17 M)	N° de muestra	M5
15/02/2017	E= 739476, S = 9695481 Z= 2484	Zona	Juan Montalvo
		Punto de muestreo	Vivienda
		Tanque de abastecimiento	Tanque Juan Montalvo
		Medición insitu de cloro	0,54 mg/l
		Temp agua	15 °C
		Clima	Parcialmente despejado
Ubicación			
		Local comercial	
			
Punto de muestro		kb	0,359 h ⁻¹
Curva de decaimiento de cloro por reacción con el agua			

Fecha	Ubicación en UTM (Zona 17 M)	N° de muestra	M24
15/02/2017	E = 738693, S = 9693838 Z= 2520	Zona	Chabay
		Punto de muestreo	Tanque Chabay
		Tanque de abastecimiento	Tanque de Zhigzhiquín
		Medición insitu de cloro	0,5 mg/l
		Temp agua	15 °C
		Clima	Parcialmente despejado
Mapa con la ubicación			
		Tanque de abastecimiento	
			
Punto de muestro		kb	0,146 h ⁻¹
Curva de decaimiento de cloro por reacción con el agua			




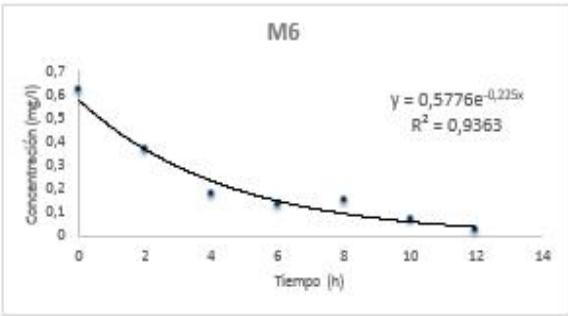



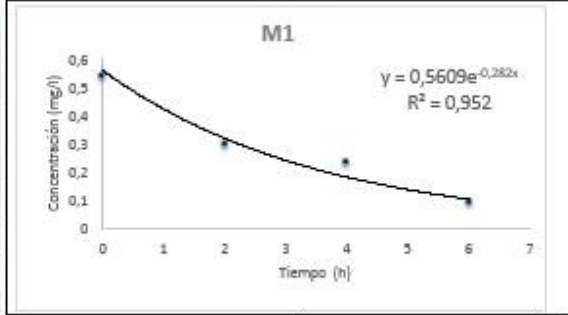
Fecha	Ubicación en UTM (Zona 17 M)	N° de muestra	M25	
15/02/2017	E = 738159, S = 9693563 Z= 2489	Zona	Bellavista	
		Punto de muestreo	Vivienda	
		Tanque de abastecimiento	Tanque de Chabay	
		Medición insitu de cloro	0,66 mg/l	
		Temp agua	15 °C	
		Clima	Parcialmente despejado	
				
Mapa con la ubicación		Vivienda		




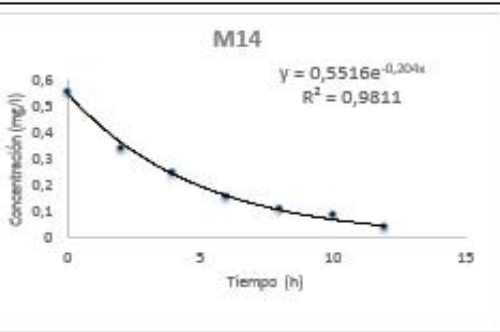
			
Punto de muestreo		kb	0,178 h ⁻¹
Curva de decaimiento de cloro por reacción con el agua			

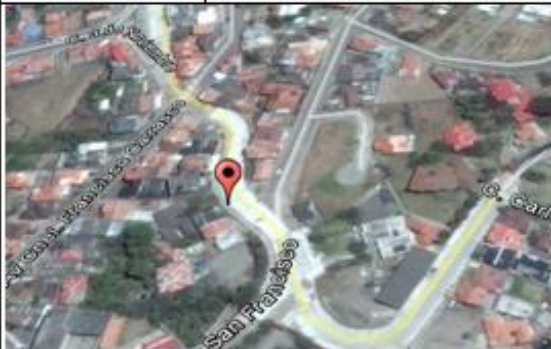


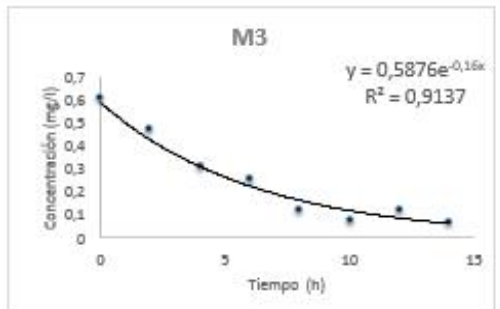
Fecha	Ubicación en UTM (Zona 17 M)	N° de muestra	M28	
15/02/2017	E= 740197, S = 9697291 Z= 2608	Zona	Calle Miguel Heredia	
		Punto de muestreo	Vivienda	
		Tanque de abastecimiento	Tanque Maguarcay	
		Medición insitu de cloro	0,33 mg/l	
		Temp agua	15 °C	
		Clima	Parcialmente despejado	
				
Mapa con la ubicación		Vivienda		
				
Punto de muestreo		kb	0,201	h⁻¹
Curva de decaimiento de cloro por reacción con el agua				

Fecha	Ubicación en UTM (Zona 17 M)	N° de muestra	M29
15/02/2017	E= 740770, S = 9699918 Z= 2796	Zona	Primero de Mayo
		Punto de muestreo	Empresa
		Tanque de abastecimiento	Tanque Maguarcay
		Medición insitu de cloro	0,37
		Temp agua	15 °C
		Clima	Parcialmente despejado
			
Mapa con la ubicación		Empresa	
 			
		kb	0,183 h⁻¹
Punto de muestro		Curva de decaimiento de cloro por reacción con el agua	
Fecha	Ubicación en UTM (Zona 17 M)	N° de muestra	M30
15/02/2017	E= 736109, S = 9687731 Z= 2797	Zona	Mahuarca
		Punto de muestreo	Tanque
		Tanque de abastecimiento	Planta de Mahuarca
		Medición insitu de cloro	0,29
		Temp agua	15 °C
		Clima	Parcialmente despejado
			
Mapa con la ubicación		Planta de Mahuarca	
		<p>Pocas mediciones</p>	
		kb	h⁻¹
Punto de muestro		Curva de decaimiento de cloro por reacción con el agua	

Formato fichas muestreo mes de Marzo

Fecha	Ubicación en UTM (Zona 17 M)	N° de muestra	M6
15/03/2017	E= 739819 S= 9697145 Z= 2171	Zona	Zona Alta
		Punto de muestreo	Vivienda
		Tanque de abastecimiento	Tanque Zona Alta
		Medición insitu de cloro	0,72 mg/l
		Temp agua	15 °C
		Clima	Parcialmente despejado
Ubicación			
		Local comercial	
Punto de muestro			
		kb	0,225 h⁻¹
		Curva de decaimiento de cloro por reacción con el agua	
Fecha	Ubicación en UTM (Zona 17 M)	N° de muestra	M1
15/03/2017	E= 739629, S= 9697137 Z= 2547	Zona	Zona Alta
		Punto de muestreo	Vivienda
		Tanque de abastecimiento	Tanque Zona Alta
		Medición insitu de cloro	0,54 mg/l
		Temp agua	15 °C
		Clima	Parcialmente despejado
Ubicación			
		Vivienda	
Punto de muestro			
		kb	0,282 h⁻¹
		Curva de decaimiento de cloro por reacción con el agua	



Fecha	Ubicación en UTM (Zona 17 M)	N° de muestra	M14
15/03/2017	E = 739839, S = 9689781 Z= 2473	Zona	Santa Barbara
		Punto de muestreo	Local Comercial
		Tanque de abastecimiento	Tanque Zona Alta
		Medición insitu de cloro	0,66 mg/l
		Temp agua	15 °C
		Clima	Parcialmente despejado
Mapa con la ubicación		Local comercial	
			
Punto de muestro	kb	0,204	h ⁻¹
Curva de decaimiento de cloro por reacción con el agua			


Fecha	Ubicación en UTM (Zona 17 M)	N° de muestra	M3	
15/03/2017	E= 739855, S= 9696894 Z=2579	Zona	Zona Alta	
		Punto de muestreo	Vivienda	
		Tanque de abastecimiento	Tanque Zona Alta	
		Medición insitu de cloro	0,71mg /l	
		Temp agua	15 °C	
		Clima	Parcialmente despejado	
Ubicación		Vivienda		
				
	Punto de muestro	kb	0,16	h ⁻¹
Curva de decaimiento de cloro por reacción con el agua				




Anexo 8

Certificado de calibración del equipo colorimétrico digital marca HACH 890 utilizado para la medición de cloro residual

		CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN																																																																									
		Ciudadela Guayaquil, calle 1era mz 21 solar 10 Guayaquil - Ecuador Pbx: 04-2282007 Fax: ext. 403 http://www.elicrom.com mail: ventas@elicrom.com																																																																									
		CERTIFICADO No:		1900-01-16																																																																							
IDENTIFICACIÓN DEL CLIENTE																																																																											
EMPRESA: FAUSTO FERNANDO GARCIA AVILA																																																																											
DIRECCIÓN: AZOGUES																																																																											
TELÉFONO: 2245793																																																																											
IDENTIFICACIÓN DEL EQUIPO																																																																											
EQUIPO:		COLORIMETRO																																																																									
MARCA:		HACH																																																																									
MODELO/TIPO:		DR / 890																																																																									
SERIE:		110890C85404																																																																									
CÓDIGO ASIGNADO EN ELICROM:		EC-2016-1832																																																																									
UNIDAD DE MEDIDA:		(1) Absorbancia																																																																									
RESOLUCIÓN:		0,001																																																																									
RANGO:		(0 a 2) (1) Absorbancia																																																																									
UBICACIÓN:		NO ESPECIFICA																																																																									
EQUIPOS UTILIZADOS																																																																											
CODIGO	NOMBRE	MARCA	MODELO	SERIE	FECHA CAL. PROX. CAL.																																																																						
EL.MR.123	ABSORBANCE STANDARD KIT DR/CHECK	HACH	27639-00	A6019	EXP : ENERO 2018																																																																						
EL.PT.365	TERMOHIGROMETRO	CENTER	342	140103655	02-abr-16 02-abr-17																																																																						
CALIBRACIÓN																																																																											
PROCEDIMIENTO:		GENERAL																																																																									
LUGAR DE CALIBRACIÓN:		LABORATORIO ELECTROQUIMICA - ELICROM																																																																									
TEMPERATURA MEDIA:		22,8 °C																																																																									
HUMEDAD MEDIA:		47,4 %HR																																																																									
<table border="1"><thead><tr><th>Unidad de Medida</th><th>Patrón</th><th>Equipo</th><th>Corrección</th><th>Incertidumbre</th><th>Observaciones</th></tr></thead><tbody><tr><td>(1) (Absorbancia)</td><td>0,600</td><td>0,601</td><td>-0,001</td><td>0,029</td><td rowspan="4">420 nm</td></tr><tr><td>(1) (Absorbancia)</td><td>1,204</td><td>1,220</td><td>-0,016</td><td>0,058</td></tr><tr><td>(1) (Absorbancia)</td><td>1,761</td><td>1,771</td><td>-0,010</td><td>0,087</td></tr><tr><td>(1) (Absorbancia)</td><td>0,617</td><td>0,613</td><td>0,004</td><td>0,029</td></tr><tr><td>(1) (Absorbancia)</td><td>1,231</td><td>1,244</td><td>-0,013</td><td>0,058</td><td rowspan="3">520 nm</td></tr><tr><td>(1) (Absorbancia)</td><td>1,794</td><td>1,803</td><td>-0,009</td><td>0,087</td></tr><tr><td>(1) (Absorbancia)</td><td>0,617</td><td>0,645</td><td>-0,028</td><td>0,029</td></tr><tr><td>(1) (Absorbancia)</td><td>1,228</td><td>1,267</td><td>-0,039</td><td>0,058</td><td rowspan="3">560 nm</td></tr><tr><td>(1) (Absorbancia)</td><td>1,793</td><td>1,865</td><td>-0,072</td><td>0,087</td></tr><tr><td>(1) (Absorbancia)</td><td>0,619</td><td>0,628</td><td>-0,009</td><td>0,029</td></tr><tr><td>(1) (Absorbancia)</td><td>1,230</td><td>1,247</td><td>-0,017</td><td>0,058</td><td rowspan="2">610 nm</td></tr><tr><td>(1) (Absorbancia)</td><td>1,789</td><td>1,819</td><td>-0,030</td><td>0,087</td></tr></tbody></table>						Unidad de Medida	Patrón	Equipo	Corrección	Incertidumbre	Observaciones	(1) (Absorbancia)	0,600	0,601	-0,001	0,029	420 nm	(1) (Absorbancia)	1,204	1,220	-0,016	0,058	(1) (Absorbancia)	1,761	1,771	-0,010	0,087	(1) (Absorbancia)	0,617	0,613	0,004	0,029	(1) (Absorbancia)	1,231	1,244	-0,013	0,058	520 nm	(1) (Absorbancia)	1,794	1,803	-0,009	0,087	(1) (Absorbancia)	0,617	0,645	-0,028	0,029	(1) (Absorbancia)	1,228	1,267	-0,039	0,058	560 nm	(1) (Absorbancia)	1,793	1,865	-0,072	0,087	(1) (Absorbancia)	0,619	0,628	-0,009	0,029	(1) (Absorbancia)	1,230	1,247	-0,017	0,058	610 nm	(1) (Absorbancia)	1,789	1,819	-0,030	0,087
Unidad de Medida	Patrón	Equipo	Corrección	Incertidumbre	Observaciones																																																																						
(1) (Absorbancia)	0,600	0,601	-0,001	0,029	420 nm																																																																						
(1) (Absorbancia)	1,204	1,220	-0,016	0,058																																																																							
(1) (Absorbancia)	1,761	1,771	-0,010	0,087																																																																							
(1) (Absorbancia)	0,617	0,613	0,004	0,029																																																																							
(1) (Absorbancia)	1,231	1,244	-0,013	0,058	520 nm																																																																						
(1) (Absorbancia)	1,794	1,803	-0,009	0,087																																																																							
(1) (Absorbancia)	0,617	0,645	-0,028	0,029																																																																							
(1) (Absorbancia)	1,228	1,267	-0,039	0,058	560 nm																																																																						
(1) (Absorbancia)	1,793	1,865	-0,072	0,087																																																																							
(1) (Absorbancia)	0,619	0,628	-0,009	0,029																																																																							
(1) (Absorbancia)	1,230	1,247	-0,017	0,058	610 nm																																																																						
(1) (Absorbancia)	1,789	1,819	-0,030	0,087																																																																							
OBSERVACIONES																																																																											
La incertidumbre típica de medición se ha determinado conforme al documento EA-4/02. Este certificado no podrá reproducirse excepto en su totalidad sin la aprobación escrita del laboratorio Elicrom Calibración. El presente certificado se refiere solamente al equipo arriba descrito al momento del ensayo.																																																																											
CALIBRACIÓN REALIZADA POR: Alcides Bajarfa																																																																											
FECHA CALIBRACIÓN:		2016-07-28		FECHA PRÓXIMA 2017-07																																																																							
		AUTORIZADO POR: Ing. Sabino Pineda GERENTE TECNICO		RECIBIDO POR: RESPONSABLE - CLIENTE																																																																							

Certificado de acreditación para calibración de equipos de la Empresa portadora del servicio



Organismo de
Acreditación Ecuatoriano



CERTIFICADO DE ACREDITACIÓN

ELICROM Cía. Ltda.

Guayaquil - Ecuador



LABORATORIO DE
CALIBRACION
N° OAE LC C 10-009

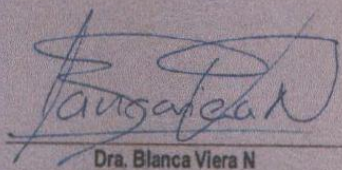
Se encuentra acreditado por el OAE en cumplimiento con los requerimientos establecidos en la **Norma NTE INEN-ISO/IEC 17025:2006 "Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y de calibración"**, equivalente a la norma ISO/IEC 17025:2005 (E), y con los criterios y procedimientos de acreditación del OAE.

Esta acreditación demuestra la competencia técnica para la **CALIBRACIÓN de INSTRUMENTOS** en las magnitudes, campos de medida, y con las incertidumbres y procedimientos detallados en el **ALCANCE DE ACREDITACIÓN**, que se realiza en las localizaciones identificadas en el mismo.

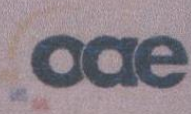
El ALCANCE DE ACREDITACIÓN es un documento fundamental de la acreditación y puede ser revisado y actualizado cuando sea pertinente, por el OAE. La edición vigente está disponible en la página web del OAE, www.oae.gob.ec, con el mismo nombre y número de acreditación que consta en este certificado.

La acreditación está condicionada al cumplimiento continuo por parte del laboratorio con los requisitos de acreditación del OAE.

La ausencia del nombre del laboratorio y de su alcance de acreditación en la página web del OAE, o la publicación del estado de retiro, indica que la acreditación ya no está vigente.



Dra. Blanca Viera N
DIRECTORA GENERAL DEL OAE



ACREDITACIÓN INICIAL 2010-05-19

Ley 2007-076 del Sistema Ecuatoriano de la Calidad RD-S-25-2007-76, Art. 21.